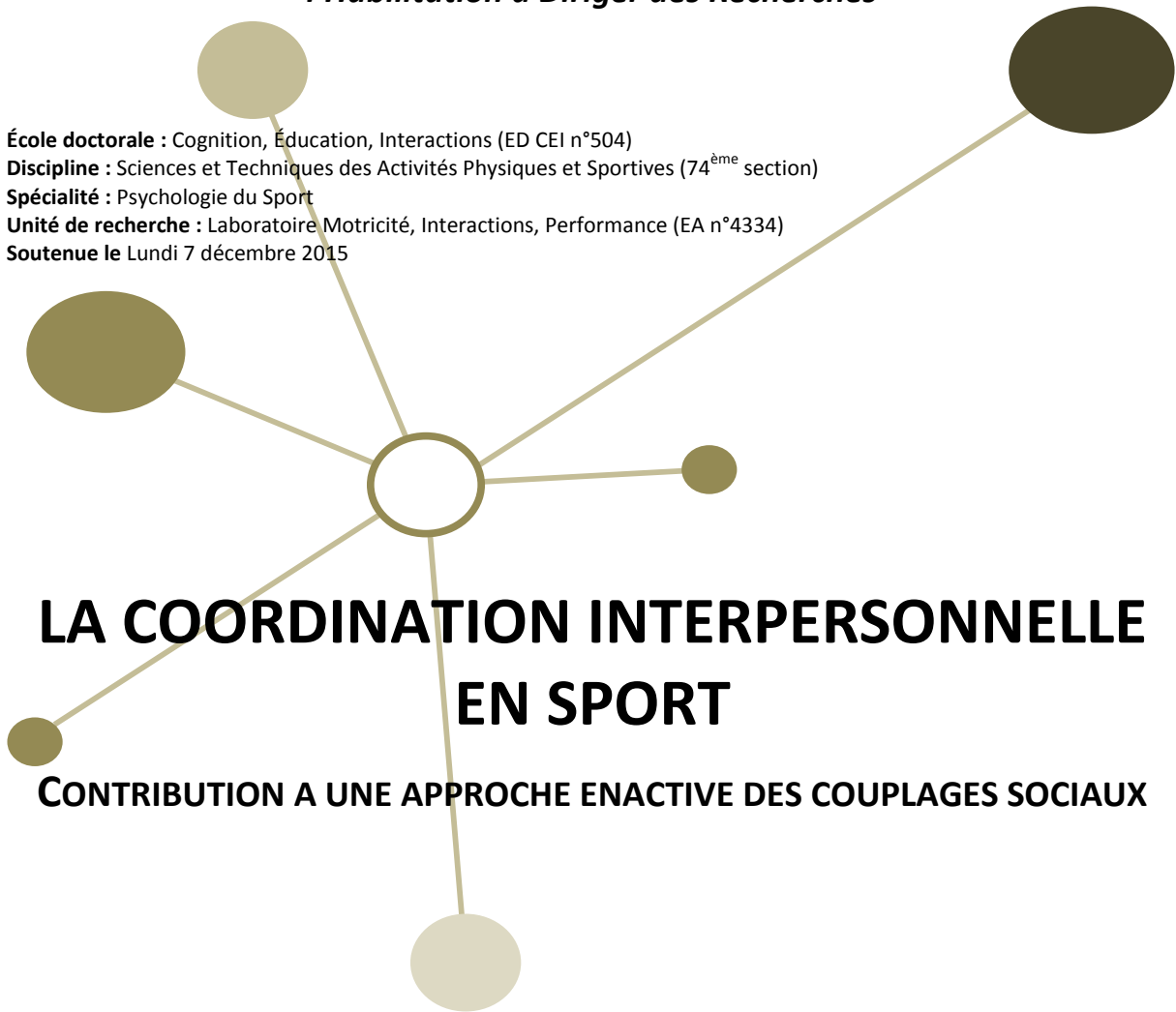


*Note de Synthèse présentée en vue de l'obtention de
l'Habilitation à Diriger des Recherches*



École doctorale : Cognition, Éducation, Interactions (ED CEI n°504)
Discipline : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (74^{ème} section)
Spécialité : Psychologie du Sport
Unité de recherche : Laboratoire Motricité, Interactions, Performance (EA n°4334)
Soutenue le Lundi 7 décembre 2015

LA COORDINATION INTERPERSONNELLE EN SPORT

CONTRIBUTION A UNE APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX

JURY

Marc DURAND, Professeur ordinaire, Université de Genève	(Rapp.)
Ludovic SEIFERT, Maître de Conférences HDR, Université de Rouen	(Rapp.)
Pascale KUNTZ, Professeur, Université de Nantes (UNAM)	(Rapp.)
Reinoud BOOTSMA, Professeur, Université d'Aix Marseille (AMU)	(Exam.)
Julien LAROCHE, Directeur scientifique, Akoustic Arts, Paris	(Inv.)
Jacques SAURY, Professeur, Université de Nantes (UNAM)	(Dir.)

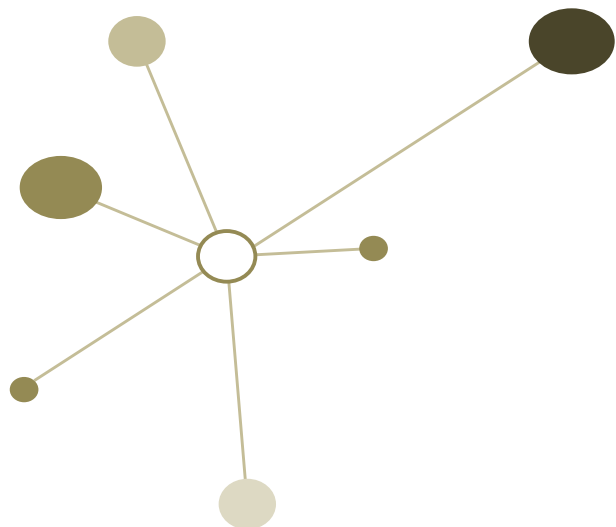
JEROME BOURBOUSSON

REMERCIEMENTS

Je me dois de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la construction de mon parcours. Difficile d'établir une liste, je me limiterai à remercier Jacques pour son accompagnement et ses encouragements dans la conduite de ce travail d'écriture. Une reconnaissance sincère aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail, et pour l'enthousiasme que chacun d'eux a manifesté pour y contribuer.

De façon plus appuyée, je remercie tous ceux qui me donnent de l'énergie positive.

Hors-catégories, ceux qui me sont les plus proches : mes parents, mon frère, ma belle-famille et mes trois bébés.



RESUME

Notre cœur bat en synchronie avec ceux qui partagent notre effort. Nos mains se synchronisent pour applaudir à l'unisson, nous nous étreignons pour pleurer, nous nous évitons parfois. Les couplages sociaux constituent l'essentiel de nos activités quotidiennes : ils sont parfois des moyens pour réaliser nos ambitions, parfois leur propre fin pour des raisons esthétiques. Ils sont souvent indissociablement le ressort et l'enjeu de notre activité tant il est difficile de faire sans eux. La capacité de chacun à interagir témoigne de sa personnalité, de sa santé mentale, ou de son expertise motrice. A l'école, nous apprenons à interagir autour de projets collaboratifs, et nous nous alarmons lorsque notre société cesse d'organiser les conditions de l'interaction sociale. En sport, les couplages sociaux sont le ressort-clé de l'intelligence collective dans les pratiques engageant plusieurs partenaires. Ces couplages permettent aux athlètes de construire ensemble des phénomènes d'un autre ordre, qui les dépassent et signent leur efficacité collective. Les couplages sociaux sont omniprésents. Ils sont mon objet d'étude.

La présente contribution est une note de synthèse pour l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches. Mon travail s'organise, de façon générale, autour des processus de construction de l'intelligence collective dans les groupes humains. Il contribue à une approche énaïve des couplages sociaux. Pour cela, les situations sportives collectives ont été, et sont encore, une part majeure de mes terrains d'étude, engendrant une contribution essentiellement centrée sur les coordinations interpersonnelles spatiotemporelles. La première partie présente mon parcours de recherche et les ressorts de mes questionnements scientifiques. Entre intelligence collective, systèmes complexes, et énaïon se tisse une ligne de recherche en prise avec la conjoncture scientifique. La deuxième partie présente le domaine théorique qui oriente mes travaux. Après une présentation de l'approche énaïve de l'activité humaine, j'introduis les caractéristiques d'une approche énaïve des couplages sociaux, me conduisant à redéfinir la notion de *cognition collective*. La troisième partie présente les acquis empiriques issus de sept études, puis conclut en spécifiant les questions actuellement résolues et non-résolues. La quatrième partie explicite les directions actuelles de mes recherches en détaillant les conditions épistémologiques de leur mise en œuvre. La recherche d'une articulation des données en première et troisième personnes, ainsi que la volonté de construire des situations d'étude plus contrôlées et ouvertes sur les sciences du numérique constituent le corps de cette partie. La cinquième partie présente trois projets de recherche actuellement conduits qui concrétisent les directions de recherche affichées.

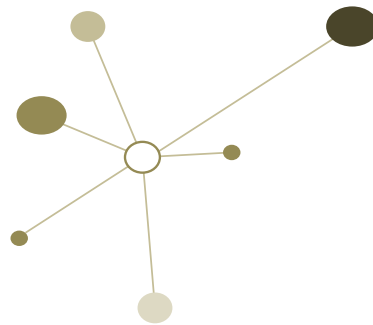
SOMMAIRE

PARTIE 1 : PARCOURS ET QUESTIONNEMENT	5
POURQUOI SE PRETER A UN TEL EXERCICE MAINTENANT ?	6
L'INITIATION D'UNE LIGNE DE RECHERCHE	7
LA POURSUITE D'UNE LIGNE DE RECHERCHE	10
STRUCTURE LOGIQUE DE MON TRAVAIL ET DE LA PRESENTE NOTE DE SYNTHESE	13
PARTIE 2 : ELEMENTS D'EPISTEMOLOGIE GENERALE	14
CHAPITRE 1 : UNE CONCEPTION ENACTIVE DE L'ACTIVITE HUMAINE	16
ETUDE DES SYSTEMES : DISTINGUER L'ORGANISATION ET LA STRUCTURE	17
STRUCTURE ET ORGANISATION DES SYSTEMES VIVANTS : L'AUTOPOÏESE	18
AUTOPOÏESE : AUTONOMIE ET CLOTURE OPERATIONNELLE	19
AUTONOMIE DE LA COGNITION : COUPLAGE STRUCTUREL ET DYNAMIQUE ASYMETRIQUE DE L'ACTIVITE	20
ASYMETRIE DU COUPLAGE : FAIRE EMERGER UN « MONDE PROPRE »	24
APPEL A LA PHENOMENOLOGIE POUR RENDRE COMPTE DU MONDE PROPRE	26
LA PLACE DU ROI POUR LES PHENOMENES DE CONSCIENCE : L'EXPERIENCE DE Pensee DU ZOMBIE	28
LA CONSCIENCE PREREFLEXIVE COMME EFFET DE SURFACE DE LA DYNAMIQUE DU COUPLAGE STRUCTUREL	29
RECUEILLIR L'EXPRESSION DE LA CONSCIENCE PREREFLEXIVE	31
CHAPITRE 2 : UNE CONCEPTION ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX	36
APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX : METTRE AU CENTRE LA NOTION D'INTERACTION	37
LA THEORIE DES SYSTEMES DYNAMIQUES : LES CORRELATIONS COMPORTEMENTALES NON-ACCIDENTELLES	38
LE DOUBLE MOUVEMENT ASCENDANT/DESCENDANT SIGNE L'AUTONOMIE DU COUPLAGE SOCIAL	40
LES COUPLAGES SOCIAUX ONT UNE AUTONOMIE « LABILE »	42
LES COUPLAGES SOCIAUX ONT LEUR PHENOMENOLOGIE	44
LE SPECTRE DES COUPLAGES SOCIAUX	46
AUTRUI : ENTRE TRANSPARENCE ET OPACITE	48
CHAPITRE 3 : REDEFINIR CE QU'EST LA COGNITION COLLECTIVE	50
LES EQUIPES SONT DES SYSTEMES COMPLEXES ADAPTATIFS	51
LA COGNITION COLLECTIVE EST UNE ACTIVITE INDEXEE A UN CONTEXTE	54
LES INTERACTIONS ENTRE LES MEMBRES SONT LA COGNITION COLLECTIVE	56
LA COGNITION COLLECTIVE EST UN PHENOMENE MULTI-NIVEAUX	57
LA COGNITION COLLECTIVE EST UN PHENOMENE DYNAMIQUE (I.E., TEMPOREL)	59
L'ARTICULATION DES CONSTRUCTIONS DE SIGNIFICATIONS FAÇONNE LA COGNITION COLLECTIVE.	61
DEFINITION DE LA COGNITION COLLECTIVE	64
PARTIE 3 : TRAVAUX DE RECHERCHE - ACQUIS EMPIRIQUES ET METHODOLOGIQUES	65
CHAPITRE 1 : LA DYNAMIQUE COMPORTEMENTALE DE COORDINATION INTERPERSONNELLE EN SITUATION NATURELLE	69
CAPTURER LES COORDINATIONS EMERGEANT A UN NIVEAU LOCAL D'ANALYSE (I.E., DYADIQUE)	71
CAPTURER LE COMPORTEMENT COLLECTIF EMERGEANT A UN NIVEAU GLOBAL D'ANALYSE	75
CHAPITRE 2 : LES COUPLAGES SOCIAUX COMME UNE CONSTRUCTION CONJOINTE DE SIGNIFICATIONS	80
EXPLORATION DES MODES DE COORDINATION COGNITIVE ENTRE MEMBRES DE L'EQUIPE AU COURS DE LEUR ACTIVITE COLLECTIVE SITUEE	82
LES MEMBRES PARTAGENT-ILS UNE PERSPECTIVE COMMUNE ? LE PARTAGE DE PREOCCUPATIONS	86
LES MEMBRES PARTAGENT-ILS UNE PERSPECTIVE COMMUNE ? LE PARTAGE DE CONNAISSANCES	92
CHAPITRE 3 : LES MECANISMES MULTI-NIVEAUX FAÇONNANT L'AUTONOMIE DES COUPLAGES SOCIAUX	97
INTERFERENCES ENTRE NIVEAUX D'ORGANISATION : APPROCHE DES PHENOMENES SPATIOTEMPORELS	98
INTERFERENCES ENTRE NIVEAUX D'ORGANISATION : APPROCHE DES PHENOMENES INTERSUBJECTIFS	101

CHAPITRE 4 : QUESTIONS RESOLUES ET NON-RESOLUES	111
QUESTIONS RESOLUES	112
QUESTIONS VIVES NON-RESOLUES	115
PARTIE 4 : DIRECTIONS DE RECHERCHE ET CONDITIONS EPISTEMOLOGIQUES DE LEUR MISE EN ŒUVRE	122
CHAPITRE 1 : DE L'ETUDE SEPARÉE DES DIMENSIONS SUBJECTIVES ET COMPORTEMENTALES A CELLE DE LEUR ARTICULATION	124
DECRIRE L'ACTIVITE : DESCRIPTIONS/POSTURES EN PREMIERE ET TROISIEME PERSONNES	125
ENJEUX D'UNE ARTICULATION DES DESCRIPTIONS EN PREMIERE ET TROISIEME PERSONNES	128
SPECTRE DES POSSIBILITES D'ARTICULATION DES DESCRIPTIONS EN PREMIERE ET TROISIEME PERSONNES	129
CHAPITRE 2 : DE L'ETUDE DES SITUATIONS NATURELLES A CELLE DES SITUATIONS CONTROLEES	138
DE L'ETUDE DE CAS...	140
...AU CONTROLE DES VARIABLES	143
SYNERGETIQUE ET MODELISATION MATHEMATIQUE DES PHENOMENES	148
EN DIRECTION DES SCIENCES DU NUMERIQUE.	156
PARTIE 5 : PROJETS DE RECHERCHE AMORCES	163
CHAPITRE 1 : BOURBOUSSON, 2016-2020 - <i>PROJET ANR JCJC - EMERCOLL</i>	165
EMERGENCE OF COLLECTIVE HUMAN BEHAVIORS: IDENTIFYING MODES OF REGULATION AND THEIR DYNAMICS OF DISRUPTION	166
CHAPITRE 2 : BOURBOUSSON ET AL., SOUMIS - <i>PSYCHOLOGY OF SPORT AND EXERCISE</i>	210
THE ROLE OF VERBAL COMMUNICATION IN REAL-TIME INTERPERSONAL COORDINATION: THE CASE OF AN EXPERT ROWING CREW	211
CHAPITRE 3 : R'KIQUAK, 2014-2017 - <i>PROJET DE THESE ANOPACY</i>	234
APPRENDRE A FONCTIONNER ENSEMBLE : UNE APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX EN AVIRON	235
CONCLUSIONS	239
UNE PRATIQUE DES PERSPECTIVES SANS LES PERSPECTIVES PRATIQUES ?	239
UNE APPROCHE ENACTIVE SANS COURS D'ACTION ?	239
UN PROJET SCIENTIFIQUE ET DE DEVELOPPEMENT DE MON IDENTITE PROFESSIONNELLE	240
REFERENCES	242

PARTIE 1

PARCOURS ET QUESTIONNEMENT



PARTIE 1 : PARCOURS ET QUESTIONNEMENT

PARTIE 2 : ÉLÉMENTS D'ÉPISTEMOLOGIE GÉNÉRALE

PARTIE 3 : TRAVAUX DE RECHERCHE : ACQUIS EMPIRIQUES ET MÉTHODOLOGIQUES

PARTIE 4 : DIRECTIONS DE RECHERCHE ET CONDITIONS ÉPISTEMOLOGIQUES DE LEUR MISE EN ŒUVRE

PARTIE 5 : PROJETS DE RECHERCHE AMORCÉS

Le déclenchement de l'écriture d'une Habilitation à Diriger des Recherches puise souvent ses ressorts dans une logique personnelle favorable à l'actualisation d'intérêts scientifiques. Voici la mienne. Mahé commence à jouer avec sa sœur : je peux gagner quelques minutes précieuses sur mon ordinateur. Naélie dort mieux et moi avec, je vais pouvoir me lever tôt sans trop souffrir. La thyroïde de Marina va mieux, elle me supportera. Est venu le temps d'écrire mon « HDR ». Et puis, il fallait bien que quelque chose se passe en 2015.

Bien qu'il soit de coutume de s'étendre un peu sur les ressorts intimes de mon parcours de recherche, institutionnel et personnel, je les estime insuffisamment « chaotiques » pour les développer trop longuement. La Partie 1 de cette note de synthèse essaie tout de même d'en dire quelques mots, de façon brève, et sur un ton volontairement libre.

POURQUOI SE PRETER A UN TEL EXERCICE MAINTENANT ?

Est venu le temps d'écrire mon « HDR ». Ce déclenchement emprunte évidemment à une logique scientifique, notamment le sentiment d'engager plus de maturité dans mes travaux et de mieux figurer les espaces où me diriger. Cette logique scientifique transparaîtra largement dans le corps de cette note de synthèse. En préambule de plus longs développements des ressorts épistémologiques de cette entreprise, cette HDR vient aussi s'inscrire dans une logique professionnelle engageante. Les besoins d'accroissement des possibilités d'encadrement, les envies de monter/porter des projets collaboratifs ambitieux... Et puisque l'on m'a soufflé d'attendre au moins cinq ans après la thèse, cela tombe bien car je n'avais pas d'événement majeur dans ma vie professionnelle en 2015... Ce document vient de la sorte conforter le rythme intrinsèque de transformations de mon identité professionnelle tous les trois ans : 2000. Entrée à l'UFR-STAPS de Montpellier / 2003. Recrutement fonctionnaire-stagiaire à l'ENS-Cachan / 2006. Concours de l'Agrégation externe d'EPS / 2009. Recrutement PRAG à l'UFR-STAPS de Nantes / 2012. Recrutement Maître de Conférences à l'UFR-STAPS de Nantes / 2015. ...

Au-delà de la volonté personnelle d'affirmer/maintenir ce rythme de transformation (raison peu avouable en préambule d'un document visant la rationalisation parfaite d'un parcours de chercheur), je reconnais quand même que mes travaux de recherche sont rendus à une étape de transition qui légitime assez bien de se poser et d'en expliciter la logique... voire même, comme cela a été le cas à plusieurs moments, de la construire et de la vérifier *a posteriori*. Les derniers projets

que j'ai construits ont amorcé un virage en direction d'approches plus quantitatives et/ou expérimentales, et si leur construction s'ancrait dans un sentiment de cohérence et d'intérêt pour une approche énaactive des couplages sociaux, un travail fin d'explication/justification des conditions de possibilité d'un tel virage restait à être mené. Pour poser quelques jalons délimitant mon parcours et les questionnements qui l'ont accompagné, deux sections sont distinguées. La première explicite l'initiation de ma ligne de recherche, la deuxième explique la logique de sa poursuite.

L'INITIATION D'UNE LIGNE DE RECHERCHE

Mon parcours de recherche s'initie dans des questionnements de terrain qui, rapidement, se focalisent sur la notion d'*intelligence collective*. Il se poursuit par des lectures et des attraites théoriques en direction des théories des *systèmes complexes*. Il se concrétise par la rencontre avec le paradigme de l'*énaction*.

LA THÉMATIQUE DE L'INTELLIGENCE COLLECTIVE. Mon engagement de pratiquant de bon niveau en basketball, poursuivi rapidement par une pratique intensive de coaching/entraînement d'équipes compétitives (i.e., championnat de France) ont scellé mon intérêt pour l'importance du « faire ensemble » dans la pratique sportive, non comme une valeur à défendre, mais comme une force à stimuler et faire advenir dans les activités. Cette préoccupation pour le fonctionnement des équipes en train d'opérer m'a engagé dans un intérêt assidu pour la thématique de l'*intelligence collective*, c'est à dire les conditions qui permettent à une équipe de tirer le plein potentiel de l'activité de ses membres en manageant leurs interactions (Bourbousson, Bossard, & Adé, sous presse). L'enjeu de cette thématique était assez bien illustré dans l'exergue de mon tapuscrit de doctorat : « *Dans les sports collectifs, qui n'a pas entendu (ou peut-être lui-même raconté) l'histoire de ces coéquipiers, pourtant très bons individuellement, incapables d'obtenir les résultats espérés ? Les exemples de cet ordre sont assez fréquents, et nombreuses sont les équipes composées de joueurs talentueux qui n'ont pas réussi à fonctionner ensemble. Toutefois, il arrive également que les partenaires réalisent parfois de véritables exploits collectifs : l'équipe parvient alors à se comporter de façon incroyablement cohérente, articulant avec une grande fluidité les activités des membres, et donnant l'impression de fonctionner comme une unité autonome et cohérente. Le comportement collectif global qui apparaît ne semble alors plus réductible à la simple juxtaposition ou addition des comportements individuels qui le composent, et les individus donnent le sentiment de disparaître devant l'ordre collectif qu'ils créent. Ces observations témoignent du fait qu'une « équipe experte » ne peut se réduire à une « équipe d'experts ». Si les raisons avancées pour tenter d'expliquer les ressorts de cette efficacité (ou non efficacité) collective sont diverses, un des processus-clef à l'œuvre qui*

permet l'émergence d'une forme d'« intelligence collective » est la coordination interpersonnelle (Eccles & Tenenbaum, 2004). » (Bourbousson, 2010, Tome 1, p.7).

Cette préoccupation pour les phénomènes d'intelligence collective coïncidaient avec un vent d'études scientifiques en France qui *i*) regrettaient le caractère souvent individu-centré (i.e., peu teintées de préoccupations pour le fonctionnement collectif) des études portant sur les processus cognitifs de la performance en sport (e.g., Poizat, 2006), *ii*) préféraient l'appréhension de l'activité réelle des athlètes (i.e., comment ils opèrent en situation) à celle de construits hypothétiques issus de la psychologie sociale traditionnelle (Sève, Bourbousson, Poizat, & Saury, 2009), et dont un centre de développement semblait s'affirmait du côté de Nantes (J. Saury, C. Sève, B. Huet). Cette thématique de prédilection flirtait également implicitement avec les théories des *systèmes complexes* (e.g., Ribot, 2000), autre centre d'intérêt ayant prévalu à plusieurs de mes choix de parcours.

LES SYSTEMES COMPLEXES. Mon intérêt pour les systèmes complexes s'ancre, au début des années 2000, dans ma rencontre avec les activités de recherche conduites à l'UFR-STAPS de Montpellier. Sensible aux réserves formulées à l'égard des approches computationnalistes du contrôle moteur, des arguments relatifs au déplacement de la focale en direction de l'activité du système neuro-musculo-squelettique (i.e., plutôt que sur des construits cognitifs hypothétiques la régissant), et du rôle constitutif de l'environnement dans la dynamique intrinsèque du système considéré, je me suis nourri à cette époque des travaux de thèses dirigées par D. Delignières et des débats engagés avec le reste de la communauté STAPS quant aux intérêts de cette approche. Ces préoccupations ont orienté mon premier travail de recherche sur l'analyse des effets des fatigues musculaire et mentales sur la dynamique de coordination bimanuelle (Bourbousson, 2005, mémoire de maîtrise STAPS). Elles me valent également la découverte des travaux de T. McGarry (e.g., McGarry, Anderson, Wallace, Hughes, & Franks, 2002) qui tentait d'importer les notions et principes d'étude de la motricité comme système dynamique sur le terrain des coordinations interpersonnelles en situation naturelle, combinant ainsi des préoccupations relatives à l'intelligence collective et aux théories des systèmes dynamiques pour l'analyse de la performance sportive. Ensemble, ces éléments m'avaient conduit à explorer assez tôt dans mon parcours la possibilité de conduire ce type de travail dans le cadre d'un doctorat, et mon passage par l'ENS-Cachan était susceptible d'en permettre la réalisation. C'est seulement dans un second temps que le paradigme de l'énaction est venu s'insérer comme un catalyseur de l'ensemble de mes intérêts.

L'APPROCHE ENACTIVE ET LE PROGRAMME DE RECHERCHE DU COURS D'ACTION. Après avoir initié mon parcours de recherche par une Maîtrise STAPS (2005), le contexte de l'ENS-Cachan m'a conduit à allouer une année à la préparation de l'Agrégation d'EPS (2005-2006). Le jury de ce concours était à l'époque présidé par M. Durand, dont les intérêts pour le programme de recherche du Cours d'action étaient connus (Theureau, 2004), et avaient conduit les préparateurs de l'ENS-Cachan à lire le programme du concours autour de ses problématiques d'intérêt (e.g., Durand, 2001). J'ai fait, à cette période-là, la lecture de Varela. Les réserves que Varela portait à l'égard du computationnalisme, l'appel au principe de l'émergence pour rendre compte de la cognition, l'inscription fondamentale de l'activité dans son environnement, et des références directes faites aux travaux de S. Kelso relatives à l'auto-organisation de la motricité en faisaient une lecture passionnante. L'argumentaire relatif à l'*asymétrie* du couplage structurel et l'appel à des théories de la conscience pour intégrer la part d'expérience subjective qui se joue dans l'activité scellaient mon adhésion sans réserve à ce « nouveau » paradigme. L'ouvrage de 1996 (i.e., *Quel savoir pour l'éthique ?*) proposait une réflexion autour du rapport à autrui, venait faire écho à d'autres de mes problématiques initiales (i.e., le « faire ensemble »), et contribuait à orientait mes envies de doctorat en direction de la conduite d'une telle approche scientifique. Les tenants du programme de recherche du Cours d'action constituant à ce moment-là l'espace collaboratif le plus avancé dans le paysage universitaire des STAPS pour conduire un tel travail, j'engageais un travail de Master 2 suivi d'une thèse au laboratoire *Motricité Interactions, Performance* (MIP) sous la direction de C. Sève (UFR-STAPS de Nantes). Finalement, l'ancrage du programme de recherche du Cours d'action dans une boucle de recherche visant autant la contribution à des enjeux de connaissance qu'à des enjeux de conception permettait à mes préoccupations pour l'intervention de continuer à s'exprimer.

UNE CONJONCTURE SCIENTIFIQUE FAVORABLE. Au-delà de cette logique personnelle de construction de mes orientations de recherche, la conjoncture scientifique était particulièrement favorable à l'actualisation empirique de ces intérêts. En STAPS, aucune étude relative à l'analyse des sports-collectifs en situation naturelle à partir de données de trajectographie et des outils de la théorie des systèmes dynamiques n'avait été réalisée, bien que les débats sur ces enjeux étaient prégnants et d'une actualité brûlante (Lebed, 2006, 2007) au niveau international. Aucun travail relatif à l'analyse des situations sportives n'avait porté directement sur la thématique de la *cognition collective*, alors que cette ligne de recherche était florissante dans le domaine de l'ergonomie des situations de travail, et les bases de son étude en sport avaient été suggérées récemment (i.e., Eccles & Tenenbaum, 2004). Dans le domaine, plus mature, de la psychologie industrielle et organisationnelle, les auteurs argumentaient la nécessité de s'écarter des travaux

computationnalistes basés sur l'étude des *modèles mentaux partagés* (Cannon-Bowers, Salas, & Converse, 1993), en se dirigeant vers différentes pistes, dont celles qui fondaient l'originalité d'une approche éactive des couplages sociaux : une capture plus « écologique » et holistique de la cognition collective (e.g., Letsky & Warner, 2008), une appréhension plus « temporelle » (e.g., Cooke & Gorman, 2006), ainsi que progressivement des approches multi-niveaux (e.g., Rico, Alcover de la Hera, & Taberner, 2011). Ensemble, ces éléments de conjoncture ont permis l'expression de mes intérêts dans une ligne de recherche féconde et relativement innovante.

LA POURSUITE D'UNE LIGNE DE RECHERCHE

Après la conduite du travail de thèse, la poursuite de mes recherches s'est réalisée dans un contexte particulier ayant façonné la nature de mes investigations. Ce contexte était d'ordre professionnel, institutionnel, et scientifique. Il a contribué à engager mes travaux dans une ligne plus « quantitative », « modélisatrice », et dirigée vers les sciences du numérique (cf. Partie 4, Chapitre 2).

CONTEXTE PROFESSIONNEL DE POURSUITE DE MES TRAVAUX. Mon recrutement en 2009 en tant que professeur agrégé d'EPS détaché dans l'enseignement supérieur à l'UFR-STAPS de Nantes (i.e., lors de ma troisième année de thèse) jusqu'en 2012 a eu des effets inévitables sur ma capacité à conduire des travaux de recherche variés et à en finaliser la valorisation. La lourdeur des charges associée à cette prise de fonction m'a amené à envisager la conduite de mes études de façon plus ciblée et engageant des enjeux épistémologiques bien délimités pour être prometteurs. Dans ce sens, bien que mon activité scientifique ait été plus réduite, elle a été heuristique et ambitieuse. C'est dans ce contexte que j'ai engagé un travail de compréhension/maîtrise de l'approche de modélisation des données empiriques par l'analyse des réseaux sociaux (i.e., *Social Network Analysis*, Wasserman & Faust, 1994) (Bourbousson & Mouné, 2012 ; Cogé, R'Kiouak, & Bourbousson, 2013 ; R'Kiouak, Cogé, & Bourbousson, 2013 ; Bourbousson, Cogé, & R'Kiouak, 2014a). L'appropriation de cette approche méthodologique s'est réalisée notamment par le portage d'un projet de formation à ces méthodes pour les personnels de l'université de Nantes (financé dans le cadre du CPER 10).

CONTEXTE INSTITUTIONNEL DE POURSUITE DE MES TRAVAUX. La fin de mon travail de thèse coïncidait également avec l'engagement du laboratoire MIP dans un nouveau contrat quinquennal. Ce nouveau contrat visait le renforcement des ambitions du laboratoire en termes de *collaborations internationales* et de *valorisation industrielle* des produits de la recherche. Ces deux axes prioritaires ont aussi contribué à orienter la teneur de mes études.

Sur le versant des collaborations internationales, j'ai engagé un travail collaboratif avec B. Travassos (Université de Covilha, Portugal) autour d'une analyse multi-niveaux des contraintes

informationnelles pesant sur la dynamique de l'activité individuelle en sport collectif, et ce dans une approche exclusivement comportementale (Bourbousson, Deschamps, & Travassos, 2014b). Sur ce même registre, j'ai engagé une collaboration avec D. Araujo (Université de Lisbonne, Portugal) autour de la multiplicité des approches théoriques disponibles actuellement pour rendre compte des couplages sociaux (Araujo & Bourbousson, sous presse), ainsi qu'autour du projet que je conduis actuellement sur les modes de (co-)régulation des comportements collectifs (Partie 5, Bourbousson, 2016-2020). Ces deux collaborations ont pour effet d'appeler/renforcer la conduite de travaux intégrant un recueil/traitement de données comportementales en référence aux outils de la théorie des systèmes dynamiques. Sur un autre plan, j'ai également engagé une collaboration avec D. Eccles (Université de Durham, Royaume-Uni), pionnier dans la construction d'un intérêt pour la cognition collective en sport. Ce travail a été conduit autour de la comparaison d'équipes expertes et novices en sport collectif, et ce dans une approche exclusivement expérientielle (Bourbousson, R'Kiouak, & Eccles, 2015). Cette collaboration a cependant eu moins d'effets structurant sur les directions de mes travaux, dans la mesure où D. Eccles contribue opportunément à la logique de construction de mon approche lorsque son expertise est un atout.

Sur le versant de la valorisation industrielle des produits de la recherche, mes travaux ont premièrement recherché à intégrer dans leur construction une réflexion sur les possibilités associées de protection intellectuelle de certains produits. Dans ce cadre, la poursuite des approches comportementales menées sur des données de trajectographie (voir Partie 3, Chapitre 1) s'est avérée pertinente pour déposer des outils logiciels permettant/facilitant ces analyses (Hacques, Lardy, & Bourbousson, *Collective Behavior*, 2014). Egalement, la poursuite de ces approches a été jugée intéressante pour s'ouvrir aux possibilités d'application de nos résultats dans les sciences du numérique. Sur ce point, des pistes de collaboration ont été explorées en direction de la recherche en informatique, notamment les outils et simulation des comportements en essaim (un projet, non détaillé dans cette note de synthèse est en cours de discussion/élaboration), et en direction de la réalité virtuelle immersive avec l'équipe MimeTIC de l'INRIA et la startup Golaem dédiée au transfert de leurs résultats de recherche (voir Partie 4, Chapitre 2 pour plus de détails sur cette démarche). Ensuite, l'initiation de projets intégrant les possibilités de modélisation mathématique issues de la synergie (Haken, 2007) a été jugée comme prometteuse et susceptible d'accroître le potentiel de généralisation de nos études (voir Partie 4, Chapitre 2) tout en étendant le potentiel de valorisation de ces études sur le terrain des sciences du numérique (notamment la simulation de systèmes multi-agents) (voir Partie 5, Bourbousson, 2016-2020). La volonté d'explorer la fécondité des modélisations mathématiques des comportements collectifs a fortement contribué à diriger nos recherches vers l'étude de situations plus « contrôlées » (Partie 4, Chapitre 2).

En somme, nombre de ces opportunités sont facilitées par le développement d'une approche quantitative et conduite à partir de données comportementales (i.e., trajectographie). De la sorte, et pour ne pas conduire désormais que des études portant sur le versant extrinsèque de l'activité collective, nous avons perfectionné notre approche des possibilités de maintenir des analyses phénoménologiques dans ce contexte. C'est dans ce cadre que des possibilités variées de combiner des données expérientielles et comportementales sont envisagées dans les projets conduits actuellement (voir Partie 4, Chapitre 1 sur les ambitions d'articulation de descriptions en première et troisième personnes).

CONTEXTE SCIENTIFIQUE DE POURSUITE DE MES TRAVAUX. La continuation de mon travail de thèse en direction de travaux intégrant de façon plus systématique des descriptions comportementales s'est trouvée confirmée/renforcée par le contexte scientifique de ces cinq dernières années relatif à la fois à l'étude de la cognition collective, et au développement d'une approche énative des couplages sociaux interdisciplinaire et fortement ancrée dans les sciences du numérique. En effet, les appels récents à engager l'étude de la cognition collective dans des lignes de recherche alternatives convergent en direction d'approches plus centrées-activités (Cooke, Gorman, Myers, & Duran, 2013a), plus temporelles (Li & Roe, 2012 ; Roe, Gockel, & Meyer, 2012 ; Uitdewilligen, Waller, & Zijlstra, 2010), et plus multi-niveaux (Cooke et al., 2013a ; Humphrey & Aime, 2014 ; Kozlowski, Chao, Grand, Braun, & Kuljanin, 2013), contexte très favorable au maintien de mes lignes épistémologiques pour contribuer de façon heuristique à cette littérature. Aussi, un appel marqué pour l'investigation des phénomènes d'émergence et de causalité descendante (i.e., phénomènes chers aux théories des systèmes complexes) (Cooke et al., 2013a, Kozlowski et al., 2013) a été de nature à maintenir mon intérêt pour ces questions dans le cadre de la compréhension du fonctionnement des équipes (Partie 3, Chapitre 3). Autrement, des études mobilisant l'analyse des données de trajectographie sont devenues courantes dans les études en sciences du sport (e.g., Davids, 2015), encourageant la poursuite du travail autour de ce type de données. Finalement, le développement timide des études en STAPS investiguant les processus cognitifs de la coordination des activités a laissé une place de choix à la visibilité de mes travaux conduits en référence au programme de recherche du cours d'action (Araujo & Bourbousson, sous presse ; Bourbousson, 2013abc ; Bourbousson, 2015 ; Bourbousson ; R'Kiouak, & Saury, sous presse).

Ensuite, si l'approche énative des couplages sociaux restait essentiellement théorique au début de mon parcours (e.g., De Jaegher & Di Paolo, 2007), les cinq dernières années ont vu s'accroître les investigations expérimentales ambitionnant le perfectionnement de cette approche, notamment autour de E. Di Paolo, H. De Jaegher, et T. Froese. Si certaines de ces investigations relèvent d'une psychologie empirique (e.g., Froese, Iizuka, & Ikegami, 2014), nombre d'entre elles

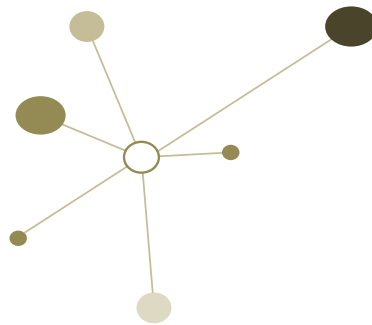
ont argumenté l'intérêt des sciences du numérique pour tester la pertinence des présupposés énatifs dans la conception de systèmes artificiels novateurs aux capacités d'adaptation accrues (Froese & Ziemke, 2009), et ouvrir dans le même temps des hypothèses nouvelles relatives à l'activité collective humaine (Froese & Di Paolo, 2008). Cet accroissement de l'intérêt pour le paradigme de l'énaction dans l'analyse des comportements sociaux (e.g., Laroche, Berardi, & Brangier, 2014) a été de nature à confirmer/renforcer la conduite de mon approche, que ce soit dans l'articulation de données expérientielles et comportementales, ou dans les relations à tisser avec les sciences du numérique.

STRUCTURE LOGIQUE DE MON TRAVAIL ET DE LA PRESENTE NOTE DE SYNTHESE

La rationalisation de mes recherches esquissée dans cette note de synthèse se fonde sur l'inscription dans une approche énative des couplages sociaux. Cette approche, fondée sur le paradigme de l'énaction de Francisco Varela étendu en direction de la compréhension de l'activité collective, mérite les développements théoriques qui sont l'objet de la Partie 2. Cette partie constitue ce que Froese et Fuchs (2012) appellent le *domaine théorique* de l'approche énative des couplages sociaux. Ensuite, ce domaine théorique se complète de deux autres domaines, le *domaine empirique expérimental* et le *domaine phénoménologique*. Le premier renvoie à des investigations scientifiques objectivistes des phénomènes de coordination interpersonnelle, mobilisant essentiellement des approches dites en troisième personne (voir Chapitre 4, Partie 1). Nous présentons les acquis empiriques de nos travaux relativement à ce domaine dans la Partie 3, Chapitre 1. Le second, le domaine phénoménologique, renvoie à la conduite d'une approche subjectiviste des phénomènes de coordination interpersonnelle. Nous présentons les acquis empiriques de nos travaux relativement à ce domaine dans la Partie 3, Chapitre 2. Ensuite, Froese et Fuchs (2012) considèrent que l'intégration de ces trois piliers dans un jeu de contraintes mutuelles est susceptible d'être réalisée/facilitée par le recours aux modèles des systèmes dynamiques. La recherche d'études plus intégratives et recourant à ce type de modèles constitue le cœur des projets que je conduis actuellement. Cette ambition intégrative nécessite de combiner dans un même projet empirique des descriptions relevant de données en première et troisième personnes, de se diriger vers des études relativement « contrôlées » et ouvertes aux sciences du numériques. Les conditions épistémologiques de réalisation de cette visée intégrative sont détaillées dans la Partie 4. Les projets actuellement conduits et opérationnalisant cette visée sont présentés dans la Partie 5. De la sorte, la construction de cette note de synthèse reprend la logique de conduite de nos travaux et de leur poursuite, en même temps qu'elle illustre la logique intégrative d'une approche énative des couplages sociaux (Froese & Fuchs, 2012).

PARTIE 2

ÉLEMENTS D'ÉPISTEMOLOGIE GÉNÉRALE



PARTIE 1 : PARCOURS ET QUESTIONNEMENT

PARTIE 2 : ÉLÉMENTS D'ÉPISTEMOLOGIE GÉNÉRALE

PARTIE 3 : TRAVAUX DE RECHERCHE : ACQUIS EMPIRIQUES ET MÉTHODOLOGIQUES

PARTIE 4 : DIRECTIONS DE RECHERCHE ET CONDITIONS ÉPISTEMOLOGIQUES DE LEUR MISE EN ŒUVRE

PARTIE 5 : PROJETS DE RECHERCHE AMORCÉ

L'épistémologie générale qui oriente la façon dont sont construits nos travaux est énaïve (i.e., en référence au paradigme de l'énaïve, Varela, Thompson, & Rosch, 1993) et construite pour l'analyse empirique de la *cognition collective* se produisant autour d'une forte médiation spatiotemporelle (e.g., les situations sportives). Pour détailler cette épistémologie générale qui constitue notre engagement ontologique, nous *i*) présentons les présupposés principaux d'une conception énaïve de l'activité humaine, et *ii*) étendons ces présupposés en direction de l'appréhension des couplages sociaux. Cette présentation débute sa logique dans la biologie théorique de Varela (e.g., Maturana & Varela, 1994), s'étend aux sciences cognitives (e.g., Varela, 1989 ; Varela et al., 1993) en passant par la philosophie phénoménologique de Thompson (e.g., Thompson, 2011), et s'ouvre à la philosophie plurielle teintée d'intelligence artificielle de Di Paolo (e.g., Di Paolo, Rohde, & De Jaegher, 2010). Ensemble, ces éléments nous permettront de mettre au centre le couplage structurel de l'acteur avec son environnement, de pointer le rôle clé de l'expérience signifiante de l'acteur dans ce couplage environnemental et social, et de la sorte de redéfinir ce que nous entendons par *cognition collective*.

PARTIE 2 - CHAPITRE 1

UNE CONCEPTION ENACTIVE DE L'ACTIVITE HUMAINE



Le paradigme de l'énaction lie plusieurs thèmes, parmi lesquels l'auto-organisation, l'expérience, et le rôle du corps en mouvement pour donner forme à la cognition comme étant une activité située et en train de se faire. Le paradigme de l'énaction fonde ses présupposés dans la théorie biologique de l'autopoïèse des systèmes vivants (Maturana & Varela, 1994), étendue en direction d'une intégration des postulats phénoménologiques pour l'étude de l'activité humaine (Varela, Thompson, & Rosch, 1993). Ce paradigme a été mobilisé de façon très hétérogène dans des domaines variés allant de la biologie aux sciences de l'intelligence artificielle. Il connaît actuellement un regain d'intérêt dans l'étude de la cognition sociale (Froese et al., 2014; Laroche et al., 2014). La théorie de Francisco Varela se nourrit dès le départ d'une critique forte des deux grands courants successifs en sciences cognitives qu'ont été le computationnalisme et le connexionnisme (Varela, 1989a), et ambitionne de proposer une alternative en revenant aux racines biologiques de la cognition (i.e., de l'acte de connaître). La présentation qui suit part des postulats et définitions fondamentaux, en se dirigeant progressivement vers la compréhension des systèmes vivants, puis vers la compréhension de l'humain dans sa spécificité, étendue dans la partie suivante à celle des systèmes sociaux.

ÉTUDE DES SYSTÈMES : DISTINGUER L'ORGANISATION ET LA STRUCTURE

« Cette dualité organisation/structure constitue la première instance importante à faire apparaître dans la description que nous donnons d'un système. » (Varela, 1989a, p. 44).

Dans l'absolu, un système se définit par un ensemble de composants ainsi que par des relations entre ces composants (i.e., des processus mettant ces composants en interaction), délimitant une unité repérable et fonctionnelle. Un système peut être vivant ou virtuel : à titre illustratif, un humain est un système vivant, un logiciel est un système virtuel. Un système peut exprimer son unité à différentes échelles (e.g., micro- ou macroscopique), peut s'intégrer dans un système du niveau supérieur et/ou être lui-même composé de systèmes de niveau inférieur. A titre illustratif, un humain (en tant que système) se compose de différents organes, eux-mêmes composés de cellules, elles-mêmes composées de protéines, en même temps que cet humain s'inscrit dans un (ou plusieurs) système(s) sociaux, eux-mêmes imbriqués dans un écosystème qui le(s) dépasse. S'il est possible de considérer plusieurs systèmes simultanément, le paradigme de l'énaction propose une théorie adaptée à la description/compréhension d'un système donné (et ce quel que soit la nature de ce système), intégrant les relations de ce système avec l'extérieur.

Dans un système, on appelle *structure* l'ensemble des composants du système (ces composants étant des composants physiques dans l'ordre du vivant) ainsi que leurs relations entre eux, et *organisation* le processus de production des composants et de leurs relations. De la sorte, la notion d'organisation décrit le dynamisme de constitution du système, alors que la notion de structure décrit la concrétisation de cette organisation dans le système. Sans structure, l'organisation du système ne pourrait s'exprimer, de même que sans organisation, la structure n'aurait pas de dynamisme.

STRUCTURE ET ORGANISATION DES SYSTÈMES VIVANTS : L'AUTOPOÏÈSE

« Les êtres vivants sont caractérisés par le fait que, littéralement, ils sont continuellement en train de s'auto-produire. Nous nous référons à ce processus lorsque nous appelons l'organisation qui les définit l'organisation autopoïétique. » (Maturana & Varela, 1994, p.32)

La perspective éactive est une approche naturaliste non-réductive (De Jaegher & Di Paolo, 2007) : elle considère les propriétés du vivant et des systèmes cognitifs comme étant sur un même continuum. À partir de la distinction entre structure et organisation, Varela propose une théorisation des êtres vivants, dont l'organisation est dite *autopoïétique* (Maturana & Varela, 1994). Si nul être vivant n'est exempt d'une organisation autopoïétique (i.e., soit-elle plus ou moins complexe), ils diffèrent entre eux notablement par leur structure. Les structures des êtres vivants peuvent différer phylogénétiquement entre elles : par exemple, un insecte n'a pas la même structure qu'un fauve. Elles peuvent également différer ontogénétiquement : par exemple, deux humains ont des structures proches mais ayant progressivement divergé (i.e., dérivé) du fait de leurs histoires respectives. De la sorte, les changements structuraux qui surviennent dans une unité autopoïétique donnée sont à la fois le résultat des interactions avec l'environnement et de sa dynamique interne (i.e., intégrant sa phylogénèse et son ontogénèse).

Si la dynamique de la structure d'un système est d'intérêt, c'est la description/explication de l'organisation des systèmes vivants, l'autopoïèse, qui constitue le cœur de l'élaboration du paradigme éactif. Autopoïèse vient de *autos* (soi) et *poiein* (produire), signifiant littéralement les mécanismes d'auto-production à l'œuvre dans les systèmes vivants. De la sorte, définir le vivant par l'autopoïèse (même si l'autopoïèse ne concerne pas que le vivant) rend compte de deux propriétés : *i)* l'organisation assure la régénération des composants (i.e., la structure), et *ii)* l'organisation délimite une unité spatiale par le maintien d'une frontière dynamique. « *Un système autopoïétique est organisé comme un réseau de processus de production de composants qui régénèrent continuellement par leurs transformations et leurs interactions le réseau qui les a produits, et qui*

constituent le système en tant qu'unité concrète dans l'espace où il existe, en spécifiant le domaine topologique où il se réalise comme réseau » (Varela, 1989b, p.45). À titre illustratif, le fonctionnement du système « cellule » conduit à la production de composants « protéines » qui sont eux-mêmes nécessaires à leur propre production. Ancré de la sorte dans les phénomènes de causalité circulaire, rétroactive et/ou récursive, le système est alors considéré comme un réseau de transformations se produisant lui-même, pour lequel la stabilité dynamique du vivant (i.e., l'homéostasie) est moins à chercher dans la dynamique des composants et de leurs relations que dans le mécanisme qui permet de les produire et de les délimiter.

AUTOPOÏESE : AUTONOMIE ET CLÔTURE OPÉRATIONNELLE

« Un système possédant une clôture opérationnelle est précisément un système dont les résultats des processus sont ces processus eux-mêmes. La notion de clôture opérationnelle est donc une manière de spécifier les classes de processus qui, dans leur fonctionnement proprement dit, se retournent sur eux-mêmes pour former des réseaux autonomes. Ces réseaux se rangent non pas dans la classe des systèmes définis par des mécanismes extérieurs de contrôle (hétéronomie), mais dans la classe des systèmes spécifiés par des mécanismes internes d'auto-organisation (autonomie). » (Varela, Thompson, & Rosch, 1993, p.200)

L'autopoïèse d'un système est le processus qui produit dans le même temps les composants et la frontière de ce système. Cette frontière offre ainsi une limite au réseau d'auto-transformation, le distingue de son environnement (i.e., autres éléments et relations à ces éléments) et, dans le cas du vivant, le constitue comme unité physique. Ce clivage spatial circonscrivant un organisme vivant est permis par une *membrane*, incluse dans l'organisation autopoïétique : la membrane ne se limite pas à clôturer le réseau, mais elle y contribue elle-même. En pratique, la frontière du système lui permet de ne pas se désintégrer en un ensemble disparate d'éléments et de constituer une unité discrète. La combinaison des deux éléments que sont la frontière et le processus d'auto-production conduit le système à un fonctionnement auto-organisé. Varela qualifie ainsi les systèmes autopoïétiques comme des systèmes *opérationnellement clos*, c'est-à-dire dont les opérations sont déterminées par la dynamique intrinsèque du système. En d'autres termes, le système (e.g., le système nerveux) fonctionne comme un réseau fermé de transformations se produisant dans le cadre de relations entre les activités de ses composants. De la sorte, avant d'être intelligible/interprétable par un observateur, le comportement du système reflète avant tout la dynamique interne à l'unité (e.g., l'organisme), signant ainsi la nature *autonome* des êtres vivants (i.e., se définissant eux-mêmes, s'auto-organisant). Dans ce sens, sans forcément se référer directement au paradigme éenactif, tous les travaux qui décrivent/démontrent les propriétés d'auto-

organisation du comportement psychomoteur humain (voir Kelso, 1997 pour plus de détails) fournissent des connaissances qui abondent dans le sens de ces hypothèses.

En somme, l'autopoïèse fait des êtres vivants des systèmes autonomes : toutes les transformations que vit le système sont subordonnées au maintien de sa propre organisation, constituant ainsi les ressorts de son individualité (Duquaire, 2003). L'autonomie amène les êtres vivants à fonctionner en jouant à chaque instant leur identité, et à se transformer dynamiquement pour en assurer le maintien. Cette définition de l'autonomie est fondée sur la compréhension des systèmes vivants. Elle s'applique autant à des unités dites de premier ordre (e.g., un organisme unicellulaire tel une bactérie) qu'aux unités de deuxième ordre (e.g., un système d'unités de premier ordre tel un humain), et aux unités de troisième ordre (e.g., un système social tel une dyade). Il est également envisageable que de tels systèmes autonomes puissent être fabriqués par l'homme en intelligence artificielle (e.g., Di Paolo et al., 2010 ; Froese & Di Paolo, 2008 ; Froese & Ziemke, 2009). Ce point sera abordé plus tard, notamment dans la section réservée aux directions de recherche qui visent une ouverture de nos travaux vers les sciences du numérique.

AUTONOMIE DE LA COGNITION : COUPLAGE STRUCTUREL ET DYNAMIQUE ASYMETRIQUE DE L'ACTIVITE

« Le point de départ de l'approche propre à l'énaction est l'étude de la manière dont le sujet percevant parvient à guider ses actions dans sa situation locale. Dans la mesure où ces situations locales se transforment constamment à la suite de l'activité même du sujet percevant, le point de référence nécessaire pour comprendre la perception n'est plus un monde pré-donné, indépendant du sujet de la perception, mais la structure sensori-motrice du sujet (la manière dont le système nerveux relie les surfaces sensorielles et motrices). C'est cette structure – la façon dont le sujet percevant est inscrit dans son corps – ,plutôt qu'un monde pré-établi, qui détermine comment le sujet peut agir et être modulé par les événements de l'environnement. La préoccupation globale d'une approche de la perception par l'énaction n'est donc pas de déterminer comment un monde indépendant du sujet de la perception doit être reconstitué ; elle consiste plutôt à déterminer les principes communs ou les lois de liaison des systèmes sensoriel et moteur qui expliquent comment l'action peut être perceptivement guidée dans un monde qui dépend du sujet de la perception. » (Varela, Thompson, & Rosch, 1993, p.235)

A partir de la définition du caractère autonome des systèmes vivants, l'étape subséquente est de préciser le statut que prend l'environnement (et sa dynamique) dans la dynamique de transformation du système en question. La frontière d'un système vivant délimite l'intérieur et l'extérieur de ce système. La clôture opérationnelle donne le primat à la dynamique intrinsèque du système dans le devenir de ses transformations. Pour autant, le système ne fonctionne pas en vase clos, indépendant des événements extérieurs au système. Au contraire, le système autonome est

directement couplé avec ces événements externes : il est impossible d'étudier le système indépendamment de l'environnement dans lequel il opère. Cette connexion fondamentale entre l'unité autopoïétique et son environnement est appelée *couplage structurel* (Varela, 1989b).

Le couplage structurel rend compte du fait que les changements dans la structure du système sont couplés avec les changements de son environnement. Dans la compréhension de l'activité humaine, cette conception s'approprie le postulat d'un couplage acteur/environnement tel que développé dans l'approche écologique de la perception (e.g., Gibson, 1979), dans l'approche dynamique du contrôle moteur (e.g., Kelso, 1997), ou dans l'approche située de la cognition (e.g., Suchman, 1987), même si des réserves sont apportées à chacune des théories (e.g., Varela et al., 1993). Ce couplage fondamental a des conséquences importantes ; il implique que *i*) le fonctionnement cognitif observé dépend inextricablement de l'environnement dans lequel il est observé, nécessitant de la sorte une description simultanée du fonctionnement du système et des propriétés toutes singulières des événements extérieurs qui l'ont enclenché. Il implique ensuite que *ii*) l'étude de la cognition d'un système soit appréhendée comme un processus dynamique d'interaction permanente entre l'individu (i.e., dans le cas des humains) et son contexte, c'est-à-dire un processus situé d'engendrement pas à pas des phénomènes cognitifs. Ensemble, ces deux conséquences conduisent à ne pas pouvoir décrire la cognition en dehors de la dynamique par laquelle elle opère en situation. Varela formule son postulat de la sorte : *La perception est une action guidée par la perception* (Maturana & Varela, 1994), autrement dit la cognition est une *activité*, et non pas une propriété ou un produit. Cette activité, qu'elle soit extérieurement perçue comme relevant d'un acte pratique ou symbolique, est uniforme du point du système, c'est-à-dire qu'elle n'est rien d'autre qu'une façon pour le système d'exprimer sa capacité à exister à partir de ses possibilités sensori-motrices. De la sorte, l'activité peut être perceptive, réflexive, émotionnelle, motrice, sans qu'il soit nécessaire a priori de différencier ces actes dans leur nature. Si, pour l'observateur des comportements du système, ces distinctions peuvent avoir un sens, du point de vue du système lui-même ces distinctions tombent : les phénomènes ne sont ni internes, ni externes, ni perceptifs, ni réflexifs ou émotionnels. Du point de vue du système, toutes ces activités jouent la même fonction, celle de lui permettre d'exprimer son dynamisme dans sa relation avec l'environnement en actualisant certaines de ses capacités sensorimotrices. Ces éléments permettent à Varela de se détacher franchement de l'approche computationnaliste considérant l'homme comme un système de traitement de l'information, pour laquelle, d'une part, la cognition peut être décrite en elle-même, dans son essence, indépendamment du contexte dans lequel elle opère, et d'autre part les fonctions motrices, cognitives ou émotionnelles sont considérées de nature différentes. Varela résume cette posture à partir de deux aphorismes : *Expliquer la cognition, c'est expliquer*

l'action efficace d'un être vivant dans son environnement, et Toute action est connaissance et toute connaissance est action (Maturana & Varela, 1994).

La redéfinition continue et située de l'activité ne ressemble en rien à un traitement de l'information ou à un programme stocké, mais dépend de l'improvisation et de l'adaptation aux contingences. Ainsi, la cognition ne relève pas de représentations mentales mais plutôt d'opérations incarnées (i.e., inscrites dans un corps propre dont les propriétés façonnent la cognition). L'intelligence d'un organisme réside dans une pratique en situation (Duquaire, 2003) ; l'organisme est vu comme le *centre d'une activité dans le monde* (De Jaegher & Di Paolo, 2007) : « *dans un sens concret et pratique, un système cognitif est incarné dans la mesure où son activité (cognitive) dépend de façon non-triviale du corps. (...) Le corps n'est pas considéré comme contrôlé par un cerveau, mais le corps animé est le locus autonome et moyen de l'activité signifiante. (...) Dans sa version radicale, le corps animé dans son monde 'est' l'esprit.* » (De Jaegher & Di Paolo, 2007, p.487-488). Cette posture se retrouve en partie dans les approches dites « orientées-activité » (e.g., Durand, de Saint-Georges, & Meuwly-Bonte, 2006), pour lesquelles la description de ce que l'individu fait doit primer sur celle de supposés fonctions ou processus cognitifs, et qui tentent de capturer les phénomènes moteurs, perceptifs, réflexifs et/ou émotionnels comme un tout plutôt que de les dissocier/décomposer pour comprendre leur nature (supposée) spécifique : « *considérer l'émergence sérieusement amène l'énaction à être particulièrement sceptique sur la localisation des fonctions à un niveau donné dans un composant spécifique à un niveau inférieur (...) ce qui dans le même temps rejette la boxologie comme une méthode valide pour répondre à la question du comment ça marche ?* » (De Jaegher & Di Paolo, 2007, p. 487).

En somme, le couplage structurel témoigne du processus ininterrompu de perturbations réciproques se produisant entre un organisme et l'environnement dans lequel il est plongé. Ensuite, plus précisément, le couplage structurel ne rend pas compte de toutes les interactions qui se produisent, mais seulement des interactions qui sont suffisamment saillantes (i.e., ou récurrentes) pour déclencher des changements de structure dans l'unité autopoïétique. De la sorte, la dynamique du couplage structurel correspond à l'histoire des changements structuraux survenus dans l'organisme, intégrant de façon concomitante l'histoire des changements de l'environnement impliqué dans le couplage (i.e., co-dérive). Décrire la dynamique du couplage structurel d'un individu renvoie à la description de la dynamique d'engendrement de son activité située (i.e., ce que l'individu fait avec son environnement singulier) et incarnée (i.e., sans dissociation corps, esprit, émotions...).

L'auto-organisation du vivant n'implique pas pour autant que les conditions externes du système ne soient pas indispensables à l'existence de tels processus. C'est pourquoi, à partir de la déclinaison des concepts relatifs à l'autonomie du vivant, Varela délimite les contours de ce qu'est l'environnement et de la fonction qu'il prend dans le couplage structurel d'un organisme. Dans la

mesure où les transformations structurales qui surviennent dans l'organisme sont auto-référencées, l'environnement ne peut logiquement pas être conçu comme pouvant spécifier, diriger, ou instruire ces changements. Pour autant, dans la mesure où l'organisme est couplé à l'environnement, les événements externes au système jouent un rôle constitutif de sa dynamique à condition *i)* de considérer que seule la partie de l'environnement auquel l'organisme est sensible n'entre dans la relation (i.e., du fait de ses capacités sensori-motrices et de son histoire structurale), et *ii)* de décrire l'effet de l'environnement sur le système comme un *déclenchement*, un engendrement d'effets dans le système, mais déterminés par la dynamique de la structure interne de l'organisme perturbé. L'interaction entre l'unité autopoïétique et son environnement n'est pas de nature instructive, car ne déterminant pas quels en seront les effets (Maturana & Varela, 1994). En somme, l'environnement est conçu comme un ensemble de *perturbations* non-spécifiques disponibles, auxquelles l'organisme est différentiellement sensible : par exemple, si les ultra-sons sont disponibles comme des perturbations potentielles, tous les organismes n'y sont pas sensibles et n'intègrent pas ces événements dans leur couplage structurel. La sensibilité de l'organisme aux perturbations environnementales disponibles est déterminée phylogénétiquement (e.g., un humain, par son système visuel, est sensible aux longueurs d'ondes) et ontogénétiquement (e.g., la perception des couleurs et de leurs nuances est ancrée dans l'histoire des expériences d'un individu donné). En somme, les perturbations externes ne spécifient en rien la manière dont elles seront reçues par le système autopoïétique. C'est l'organisme et sa dynamique interne qui, seuls, déterminent ce que ces perturbations engendreront dans le couplage structurel. Maturana et Varela le formulent de la sorte : en tant qu'observateurs, nous focalisons notre attention sur ce qui nous est le plus apparent, c'est-à-dire les perturbations extérieures, et sommes amenés à croire que celles-ci constituent le facteur déterminant, or ces perturbations ne peuvent que moduler les variations de l'équilibre interne du système autopoïétique (Maturana & Varela, 1994)

Finalement, même si déjà largement initiée, l'importance de la *dynamique* du couplage structurel mérite d'être discutée. A ce stade de l'explicitation de l'approche énative, la prise en compte de cette dynamique est apparue comme une nécessité logique, provenant du fait que l'activité est conçue comme une interaction en train de se faire, sans cesse actualisée entre un acteur et son environnement. Il faut ajouter à cela que ces interactions acteur-environnement ont toutes des conséquences pour la suite de l'histoire du couplage structurel. Chaque interaction est associée au déclenchement de changements structuraux, signifiant que nous sommes modifiés par chaque expérience, même si les changements ne sont pas toujours facilement visibles (Maturana & Varela, 1994). Ainsi, si c'est la structure de l'organisme qui détermine ce à quoi cet organisme est sensible, alors la sédimentation de chaque expérience crée une dynamique ininterrompue de transformations minuscules (i.e., quoique parfois importantes), qui reçoivent à chaque instant la sensibilité de

l'organisme, signant la dynamique intrinsèque de son activité, et témoignant de la *perspective* dynamique que l'unité autopoïétique construit dans son environnement. Cette perspective dynamique, construite de l'intérieur, a été conceptualisée comme témoignant de l'*adaptativité* du système (Di Paolo, 2005). L'adaptativité signe l'idée d'une régulation active du couplage structurel, c'est-à-dire engagée par le système lui-même pour le maintien de la viabilité de son organisation (i.e., et non dirigée par la situation). C'est cette notion d'adaptativité qui conduira plus tard à décrire le monde propre du système comme une construction/transformation active de significations (Di Paolo, 2005). Par cette dynamique intrinsèque de l'activité, la sensibilité de chaque instant de l'organisme se transforme pas à pas, redélimitant dynamiquement le champ des perturbations environnementales. C'est cette dynamique interne de délimitation de l'offre environnementale qui a été désignée par le principe d'*asymétrie* du couplage structurel : le système définit lui-même, dans le dynamisme de son activité, les perturbations auxquelles il est susceptible d'être sensible. En soi, la notion d'asymétrie n'ajoute rien, mais décrit une conséquence logique majeure des mécanismes d'auto-production associés à l'organisation autopoïétique du vivant, et s'impose à qui voudrait analyser/rendre compte du comportement d'un système.

ASYMÉTRIE DU COUPLAGE : FAIRE ÉMERGER UN « MONDE PROPRE »

« Toute connaissance est une action accomplie par celui qui connaît, c'est-à-dire que toute connaissance dépend de la structure de celui qui connaît » (Maturana & Varela, 1994, p.22)

A ce stade, la notion de *monde propre* va venir synthétiser les postulats énoncés ci-avant. Elle permet d'intégrer la conception biologique de la cognition, et d'ouvrir ensuite de façon plus ciblée vers la phénoménologie.

Chez les êtres vivants, l'organisation est pour tous autopoïétique. La diversité des organismes vivants s'ancre pour beaucoup dans la diversité de leurs structures. Dans la mesure où c'est la structure d'une unité autopoïétique qui délimite sa sensibilité, et donc ses interactions dans l'environnement et dans le monde où elle vit, les différences de structures entre organismes aboutissent à différentes façons d'être au monde. Ces éléments reflètent ainsi l'approche, plus ancienne, de Von Uexkull (1965) qui proposait une forme de phénoménologie du monde animal et qui, à partir des données disponibles dans le champ, tentait une description de la perspective propre de différents organismes vivants (i.e., à partir d'éléments essentiellement phylogénétiques) et fournissait des illustrations convaincantes de la pertinence d'une description des organismes par l'asymétrie de leur couplage : par exemple, quel monde fait émerger l'abeille ? Pour notre approche, il est utile de rappeler que, littéralement, éaction signifie « faire émerger ». Ainsi, en respectant les

principes de l'autopoïèse et de l'autonomie du vivant, dire que la cognition est éinaction signifie que tout acte cognitif consiste à faire émerger un monde dans une histoire de couplage structurel. Ainsi, les organismes vivants (i.e. les abeilles comme les humains) éinactent un *monde propre* qui constitue ce avec quoi l'organisme est couplé. Autrement dit, ce monde propre (et sa dynamique) définit/délimite les perturbations auxquelles l'organisme est sensible.

Duquaire (2003) résume la posture éinactive comme conduisant à considérer la cognition comme une *compréhension incarnée*. Cette compréhension reflète le travail de définition/redéfinition pas à pas d'un monde propre, intégrant l'idée selon laquelle la corporéité de l'entité cognitive (et l'histoire singulière de cette corporéité) est le substrat fondamental de cette éinaction. Le monde propre d'un organisme est produit par l'histoire de son couplage structurel : il est différent pour chaque système vivant bien qu'il puisse de façon évidente ressembler au monde propre de ses congénères dotés des mêmes capacités sensori-motrices (bien que l'histoire du couplage structurel de chaque système rende son monde singulier). De la sorte, dans l'étude de la cognition humaine, le paradigme de l'éinaction se distingue du computationnalisme : à titre illustratif, la perspective phénoménologique vers laquelle tend le paradigme éinactif considèrera que l'odorat et la vision sont non de simples fonctions sensorielles, mais des manières d'être au monde, autrement dit autant de manières créatives d'éinacter des significations. De la sorte, Varela développe le paradigme de l'éinaction avec comme principale exigence pour les sciences cognitives, celle de remettre au centre des investigations scientifiques le vécu, la subjectivité, se rapprochant ainsi de la posture phénoménologique (e.g., Merleau-Ponty, 1945). D'un point de vue épistémologique, l'enjeu du travail scientifique réside dans la réduction du fossé qui sépare la science d'un côté (qui étudie la nature), et la phénoménologie de l'autre (qui étudie les phénomènes de conscience) (Thompson, 2011). C'est pour l'essentiel ce travail (que nous détaillons par la suite) qui a permis la réhabilitation des données dites *en première personne (first person account)* (Petitmengin, 2006a ; Varela & Shear, 1999).

Si les références de Varela à la phénoménologie ne sont pas nombreuses dans ses travaux de biologie, elles deviennent abondantes dans son ouvrage de 1993 (Varela et al., 1993) relatif à l'inscription corporelle de l'esprit chez les humains, initiant une forme de naturalisation de la phénoménologie. Pour sa part, Di Paolo (2005) fait des significations construites par l'organisme la condition *sine qua non* à l'adaptativité et à la téléologie des systèmes, c'est-à-dire leur capacité à se diriger vers des états de couplages donnés (e.g., ceux qui lui sont les plus confortables). C'est pour cela que l'intégration dans l'analyse du monde propre de l'organisme a été souvent retenue comme la conséquence majeure du principe d'autonomie des systèmes vivants (ou artificiels), et considéré ainsi comme un principe fondateur des programmes de recherche souhaitant opérationnaliser (au moins en partie) le paradigme éinactif, et fournir ainsi une *description symbolique acceptable* (Varela

et al., 1993) de la dynamique du couplage structurel d'un organisme. A titre illustratif, « *Pour la réaliser [i.e., la description symbolique acceptable], l'observation extérieure des interactions de l'acteur avec son environnement (y compris social) est insuffisante à deux points de vue. D'une part, ces interactions ne sont pas entièrement observables de l'extérieur. D'autre part, il est impossible, de l'extérieur, de s'assurer de la pertinence de la description effectuée pour l'organisation interne de l'acteur, de ne pas prendre l'acteur pour soi-même* » (Theureau, 2006, p.42). Sur cette base, Theureau (2006) de rajouter : « *chacun des acteurs entretient une relation asymétrique avec l'environnement (comprenant les autres acteurs), en ce sens qu'il interagit seulement avec ce qui, dans cet environnement, l'intéresse ou plutôt - pour ne préjuger en rien du caractère conscient ou non de cet intérêt - est source de perturbations pour lui. Pour le dire autrement, cet acteur interagit à chaque instant avec un environnement signifiant à l'émergence duquel il a lui-même contribué, à partir de sa constitution physiologique, de sa personnalité, de sa compétence, de son histoire et de ses propres interactions avec cet environnement à l'instant précédent. Cet environnement signifiant constitue ce qu'on peut appeler, dans les termes de Merleau-Ponty (1945), son "monde propre" » (Theureau, 2006 p.39).*

APPEL A LA PHÉNOMÉNOLOGIE POUR RENDRE COMPTE DU MONDE PROPRE

« (...) experience is not an epiphenomenal side issue, but central to any understanding of the mind, and needs to be investigated in a careful phenomenological manner. For this reason, the enactive approach maintains that the cognitive and brain sciences and phenomenological investigations of human experience need to be pursued in a complementary and mutually informing way. » (Thompson, 2011, p.20)

Le paradigme éactif a ouvert tout un pan de références à la phénoménologie. L'inspiration phénoménologique est très marquée dans les mobilisations de l'approche éactive en sciences humaines, et s'appuie sur un recours extensif aux théories de la *conscience*. Pour expliciter la logique de ce recours à la phénoménologie, nous nous appuyons pour l'essentiel sur les travaux philosophiques d'Evan Thompson (Thompson, 2011 ; Varela et al., 1993) et reprenons une bonne part de son argumentaire.

Ayant comme point de départ la volonté de réduire le fossé entre Conscience et Nature, Thompson puise dans l'œuvre de Merleau-Ponty les bases de son rationnel. Merleau-Ponty essaie de résoudre l'équation de la relation entre Conscience et Nature en insérant un troisième terme qui en opère la synthèse : le *Comportement*. Ce comportement, appelé aussi *travail*, est à entendre au sens de l'*activité* du sujet. En définissant cette activité comme un tout structuré et dynamique, émergeant

de l'interaction entre l'organisme et le milieu, se voit reléguée la perspective analytique centrée sur la description de la multiplicité des composants (i.e., ou boxologie, De Jaegher & Di Paolo, 2007).

Ensuite, le rôle de la conscience est explicité à partir d'un positionnement très général. Le monde dans lequel nous vivons est organisé à partir de trois niveaux. Le premier constitue l'ordre de la matière, bien étudié par la physique et pouvant s'exprimer par des lois. Le second constitue l'ordre du vivant et ajoute du nouveau à l'ordre physique : le vivant vise la réalisation de son propre équilibre en transformant le milieu par son activité, et exprime non des lois, mais sa norme propre. Le troisième ordre est l'ordre humain. Le comportement humain est non pas dirigé directement vers les choses, mais vers le symbolique (i.e., sans être ici dans une approche computationnelle). Cette valence symbolique reflète les significations qu'un individu donné attribue aux choses, intégrant également la part culturelle qui façonne la façon dont ces choses apparaissent. Cette composante symbolique du comportement implique l'érection d'un tout nouveau milieu. Ce milieu se structure sur la forme de la dialectique monde propre/activité. De la sorte, le monde propre de l'acteur n'est pas considéré comme une pure intériorité, mais plutôt comme une structure d'engagement avec le monde (intégrant l'ordre naturel des choses ainsi que l'activité qui fait émerger ce monde). De la sorte, cette conception du symbolique reprend la définition de l'ordre du vivant, et permet ainsi de maintenir les possibilités d'une naturalisation des phénomènes de conscience.

Dans ce positionnement, la conscience humaine est alors considérée comme venant spécifier les formes humaines de vie, tout en respectant terme à terme la logique du vivant. En somme, la conscience humaine est une composante du comportement, une facette de l'activité, résonnant ainsi avec la logique varélienne d'une inscription corporelle de l'esprit selon laquelle tous les phénomènes cognitifs sont de même nature (soient-il un geste moteur, une émotion, une bouffée de conscience...) dès lors qu'ils sont tous considérés comme les actions d'un système autopoïétique dans son monde. Ainsi, les phénomènes de conscience sont centraux et non démêlables, plutôt que considérés comme une des pièces du puzzle : ils ne sont pas de simples états internes de l'esprit, ne sont pas des causes aux comportements moteurs, et ne sont pas non plus des épiphénomènes s'intercalant entre le sensoriel et le moteur. La conscience humaine, en tant qu'appareil de sensibilité, est constitutive du comportement comme le sont les organes sensoriels, la motricité, sans qu'il soit pertinent/possible de l'en distinguer véritablement. De la sorte, la conscience participe à et est indissociable du dynamisme de l'être, et constitue un phénomène-clé de la délimitation de la perspective propre de l'individu. L'expérience de pensée du *Zombie*, détaillée par Thompson (2011) et reprise ci-après, permet d'illustrer et d'argumenter plus en avant ce rôle-clé donné au vécu qui accompagne et engendre l'activité humaine.

LA PLACE DU ROI POUR LES PHÉNOMÈNES DE CONSCIENCE : L'EXPÉRIENCE DE PENSÉE DU ZOMBIE

L'introduction de la notion de vécu représente un effort pour conserver cette "présence à soi" qui me paraît indispensable à l'existence de tout fait psychique" (Sartre, 1972, p. 112)

L'expérience de pensée du *Zombie* aide à positionner le statut donné à la subjectivité (i.e., la conscience) dans la cognition humaine. Le zombie est supposé être identique physiquement à un être conscient, mais sans conscience. Il est votre jumeau biologique : autrement dit, le zombie a la même structure physique, les mêmes mécanismes et comportements que vous, mais il ne fait pas l'expérience de son activité, il ne se sent pas vivant, il n'est pas *sensible*. Supposons qu'un tel être soit concevable, alors impossible de considérer les phénomènes de conscience comme intégrés dans les mécanismes mêmes du comportement, puisque le comportement (du zombie) peut se produire à l'identique sans cette conscience. Pourtant, si vous parvenez certainement à vous figurer l'allure de ce zombie, à vous figurer ses déplacements, il vous est certainement difficile de considérer que la sensibilité dont il a été privé ne ruine pas son être. Il n'a pas été privé d'un épiphénomène qui le handicaperait ponctuellement, ou seulement dans une classe spécifique de problèmes. Il voit anéanti chacun de ses comportements, et sort dans le même temps du domaine de l'humain. Celui qui n'a pas d'expérience subjective de son corps et de son environnement est, dans les termes de Merleau-Ponty, un *körper* (*physical living body*; Thompson, 2011), et non un *Leib* (*lived body*). Adhérer à la possibilité du *Zombie*, c'est considérer qu'un corps humain puisse se mouvoir de façon tout à fait adaptée sans expérience subjective de ce même corps. Or, l'essentiel des capacités sensori-motrices du corps vivant dépendent du fait que l'activité est vécue. Pour convaincre sur cette idée, Thompson se réapproprie les arguments de Merleau-Ponty qui illustrent d'une part la façon dont la perception visuelle, notamment, est fonctionnellement liée aux mouvements corporels du sujet. D'autre part, et plus intéressant encore, l'enjeu-clé est de défendre que la perception est liée non pas directement à la sensation du mouvement, mais plutôt à l'expérience que le sujet fait de cette sensation. Autrement dit, l'expérience de son activité est une condition constitutive de la perception ordinaire (Merleau-Ponty, 1945). Si votre *Zombie* peut ancrer ses comportements dans sa perception visuelle (elle-même ancrée dans ses comportements), vous êtes, pour votre part, couplé avec l'expérience que vous faites de votre système visuel. Même si votre système visuel ne se limite pas à l'expérience que vous en faites, votre activité en est inséparable.

Comment alors imaginer la vraisemblance d'un zombie privé de la conscience de sa propre activité ? Il s'ensuit, si l'analyse phénoménologique est juste, que l'expérience corporelle est constitutive de la perception d'une continuité des objets dans l'espace, en reliant une succession d'apparences sensorielles en un tout signifiant. Inversement, tout être qui perçoit la continuité des

choses doit avoir une expérience de sa propre activité, et donc ne peut être un zombie. En somme, Thompson (2011) en conclut qu'il faut prendre l'expérience vécue ancrée corporellement (i.e., l'expérience tacite de son propre corps) comme le point de départ de toute théorisation de la cognition humaine.

C'est dans cette logique que De Jaegher & Di Paolo (2007) proposent d'organiser l'étude de la cognition autour de la notion de *sense-making* (i.e., construction de significations) comme intégrant ces postulats, tout en marquant une fois de plus ce qui sépare cette posture de l'approche computationnaliste. Les auteurs considèrent que les organismes ne reçoivent pas de façon passive de l'information depuis leur environnement, qu'ils transformeraient ensuite de manière active en représentations pour lesquelles la signification est obtenue plus tard, après traitement : les systèmes cognitifs naturels ne sont simplement pas engagés dans un travail visant à accéder à leur monde pour en construire une image précise. Plutôt, De Jaegher et Di Paolo (2007) retiennent que les systèmes cognitifs participent pleinement à la génération de significations qui les concernent, et que, de la sorte, la construction de significations est quelque chose d'actif (Di Paolo, 2005). Un organisme régule (i.e., et dirige) son couplage avec l'environnement en jetant lui-même un réseau de significations sur le monde ayant sa propre normativité (i.e., une perspective). En somme, pour le connaissant, les échanges avec le monde sont, de façon inhérente, signifiants. Cette construction et appréciation des significations est une propriété définitionnelle de ce qu'est un système cognitif.

A ce stade, si nous tenons pour acquis que l'expérience subjective de l'individu qui accompagne son activité est une composante intégrante de son couplage structurel avec l'environnement (i.e., une forme d'appareil sensoriel), alors les deux étapes suivantes qui méritent encore d'être étudiées consistent à *i*) préciser les rapports de ce vécu au couplage structurel de l'acteur avec son environnement, et de *ii*) préciser les possibilités d'accès, par le chercheur, aux phénomènes subjectifs permettant une description symbolique acceptable de la dynamique du couplage asymétrique.

LA CONSCIENCE PRERÉFLEXIVE COMME EFFET DE SURFACE DE LA DYNAMIQUE DU COUPLAGE STRUCTUREL

« La « conscience préréflexive », accompagnant tout comportement humain, est constitutive de toute activité humaine de façon organique, les deux autres sortes de consciences, la « conscience réflexive » et la « conscience historique » constituent des périodes ou moments d'activité parmi d'autres ou des produits de tels périodes ou moments d'activité, avec leur propre conscience préréflexive. » (Theureau, 2006, p. 60)

Premièrement, si l'expérience de l'acteur est une composante majeure de son couplage structurel, dans quelle mesure peut-elle être tenue comme témoignant (au moins en partie) de ce couplage, et pour être plus précis, en renseignant le caractère asymétrique ? Sur ce point, Theureau (2006) propose un argumentaire étayé. Premièrement, l'auteur reprend les thèses qui considèrent le vécu subjectif comme constitutif de l'activité humaine. Deuxièmement, ce vécu est appréhendé comme un *effet de surface* de la dynamique du couplage structurel de l'acteur avec son environnement. Ce pas supplémentaire peut être résumé dans l'aphorisme *La conscience est une propriété émergente du couplage* (Theureau, 2006). Pour défendre cette hypothèse, Theureau se réfère aux travaux de James et Dewey notamment. Il distingue la conscience de soi comme sujet historique (i.e., moi, mon identité, ma perspective asymétrique sur le monde, le « héros de l'histoire en cours » dirait Theureau), de la conscience de soi dans l'activité (i.e., conscience en acte de l'acte, flux de l'expérience qui me fait me sentir exister sans conscience directe du soi). La première forme de conscience de soi est à concevoir comme une pratique réflexive située qui amène l'individu à construire du sens sur son identité à un instant donné ; la seconde forme est le flux de consciences de soi sans soi associée à tout acte (Theureau, 2006), et de la sorte constitue ce qu'est le soi, c'est-à-dire l'identité de l'unité autopoïétique. Cette seconde forme de conscience est appelée *conscience préreflexive* (Sartre, 1972). La conscience préreflexive est la manière dont le vécu apparaît à l'individu agissant, la compréhension qu'il a de son vécu et qui sert de témoin du fonctionnement global à l'œuvre dans l'activité (en même temps qu'il est en continuité avec lui). C'est cette forme de subjectivité (i.e., la *compréhension du vécu* chez Sartre) qui est incluse dans l'hypothèse de la conscience préreflexive comme effet de surface du couplage structurel d'un acteur avec son environnement (Theureau, 2006). En somme, le vécu constitue une composante-clé de la perspective propre que l'acteur projette sur le monde et avec laquelle il interagit, et dans le même temps émerge de son couplage structurel (Thompson & Varela, 2001). De la sorte, la conscience préreflexive de l'acteur est susceptible de renseigner sa perspective propre, ainsi que de capturer certains effets de sa dynamique de couplage structurel, et donc de permettre une description de ce couplage et de sa dynamique.

Aussi, pour être plus précis dans les relations que les phénomènes de conscience entretiennent avec l'activité (ou, dit autrement, pour ne pas réduire le couplage structurel à des phénomènes de conscience), il est utile de préciser que si l'expérience subjective d'un individu participe à son couplage, cette expérience ne reflète pas l'ensemble du couplage structurel de l'individu. L'activité d'un individu intègre également des transformations structurales qui ne donnent pas lieu à expérience : des messages subliminaux aux phénomènes de digestion, en passant par la danse neuronale du cerveau, et en allant jusqu'aux caractéristiques situationnelles qui peuvent contraindre l'acteur sans lui être explicites, ce qui participe à la dynamique de l'activité ne se

retrouve pas *de facto* dans la facette subjective de cette activité. Dans ce sens, Theureau (2006) distingue la description du couplage structurel (et de sa dynamique) d'un individu – qui intègre l'ensemble des transformations s'y produisant – de la description du couplage structurel (et de sa dynamique) donnant lieu à expérience. Si la première peut être objet d'investigations (e.g., ce que Theureau ambitionne par exemple à partir de l'objet théorique *cours d'in-formation*), c'est surtout la seconde qui a été privilégiée dans l'étude de l'activité humaine (i.e., objet théorique du *cours d'action* chez Theureau). Finalement, cette description de *l'activité donnant lieu à expérience* pour l'acteur (i.e., *cours d'action*) se distingue de la seule description de l'expérience de l'acteur (objet théorique du *cours d'expérience* chez Theureau) : une description de l'expérience singulière d'un (ou plusieurs) acteur(s), si elle est certes un produit émergent (et donc un témoin) du couplage, n'est pas une description pleinement satisfaisante de celui-ci. Pour autant, c'est ce compte rendu détaillé et dynamique de l'expérience vécue qui va permettre de conduire une analyse du couplage structurel de l'acteur avec son environnement qui soit respectueuse de l'asymétrie de ce couplage (i.e., une description symbolique acceptable). « *L'écart entre "compréhension du vécu" et "vécu" tout court a l'avantage, dans cette interprétation, de correspondre à l'écart entre "cours d'expérience" d'un côté et "dynamique du couplage structurel" ou "cours d'in-formation" de l'autre. [...] Le cours d'in-formation est vécu, mais seule une partie de celui-ci donne lieu à expérience, c'est-à-dire à compréhension du vécu, tandis que l'autre partie ne peut donner lieu à expérience que moyennant une « prise de conscience ».* » (Theureau, 2006, p. 55).

Pour autant, considérer la conscience préreflexive comme un effet de surface du couplage structurel laisse ouverte la question de la structure du contenu de cette conscience et de ses formes d'expression. Sur ce point, et sans être exhaustif, nombreux auteurs s'accordent sur l'intrication de différentes composantes dans l'expérience de l'instant *t*. Varela et al. (1993) cherchent dans la tradition bouddhiste les éléments constitutifs de l'expérience (i.e., les *agrégats*) ; Laroche et al. (2014) reprennent la conceptualisation de Husserl mêlant dans chaque bouffée de conscience une impression originelle composée d'un processus de rétention et de protention ; Theureau (2006) puise dans la sémiotique de Peirce les bases de sa sophistication de la conscience préreflexive, le conduisant à une modélisation en six composantes de la façon dont les choses font signe pour l'acteur à un instant donné de son activité (i.e., le signe hexadique, Theureau, 2006).

RECUEILLIR L'EXPRESSION DE LA CONSCIENCE PREREFLEXIVE

*« Ma relation à mes actions n'est pas d'observation »
(Wittgenstein, 1980, p.130, cité par Theureau, 2006)*

L'étape suivante consiste à décrire les conditions (épistémologiques) d'accès, par le chercheur, aux phénomènes subjectifs, condition *sine qua non* à la possibilité même de la description symbolique acceptable escomptée. Pour cela, Theureau (2006) a particulièrement œuvré à détailler les conséquences de la posture sartrienne relative à la conscience préreflexive. Dans la mesure où la conscience préreflexive est équivalente à la *compréhension du vécu* (Sartre, 1972) qui accompagne toutes les formes d'activités et ne leur ajoute rien, comment permettre à un acteur de témoigner/rendre compte de cette subjectivité dont une bonne part est implicite (pour qu'ensuite le chercheur puisse en faire quelque chose dans l'analyse de l'activité)?

La compréhension du vécu qui accompagne une activité peut être explicitée *a posteriori* par l'individu moyennant des conditions favorables (e.g., dans le cadre d'un entretien aménagé à cet effet), ou pour ne pas présager du caractère exhaustif et structuré de cette restitution, peut être montrée, racontée, et commentée par l'individu à un observateur-interlocuteur (Theureau, 2006) : « *La compréhension du vécu, c'est-à-dire la conscience préreflexive, est (...) susceptible d'une certaine connaissance à condition de la réduire à quelque chose de documentable. Sa réduction en termes de "montrable, racontable et commentable à tout instant dans des conditions favorables à un observateur-interlocuteur" ouvre justement sur un observatoire qui permet de la documenter* » (Theureau, 2006, p.55). Pour cela, quatre points méritent d'être précisés, respectivement relatifs à *i*) la nature des verbalisations à recueillir, *ii*) la nature de la situation de recueil de verbalisations, et *iii*) les conditions de mise en situation de l'acteur au cours de l'entretien, et *iv*) les conditions de recueil des traces nécessaires à l'entretien.

Le premier point est relatif à la nature des données visées par le recueil de verbalisations de l'acteur. Les données d'expérience ne sont pas conçues comme des données que le chercheur doit expliquer, mais comme des données utiles/indispensables à la description même de l'activité. De la sorte, toute méthode (elles sont multiples, même si nous ciblerons ici sur l'entretien d'autoconfrontation) doit être conçue comme permettant une expression/restitution de la conscience préreflexive de l'acteur, et non pas, pour reprendre Theureau (2006), comme introspection ou comme auto-observation. Theureau (2006) s'appuie sur Claparède notamment pour distinguer les *verbalisations de l'activité* de l'*introspection*. D'après cet auteur : « *Cette méthode [verbalisation de l'activité] se distingue notablement de la méthode d'introspection ordinaire. Le sujet, au lieu de recevoir la consigne d'observer ce qui se passe en lui, reçoit celle, plus simple, de l'exprimer à haute voix (...). Cette méthode a sur celle de l'introspection l'avantage de n'exiger aucun dédoublement du sujet : celui-ci n'a pas besoin, à la fois, de penser et de se regarder penser (...). On voit que l'idée-mère de cette méthode, ce n'est pas tant d'obtenir (comme dans l'introspection) une description du contenu de la conscience qu'une relation de son activité. Le sujet doit dire ce qu'il fait, non ce qu'il trouve dans sa conscience. Il doit raconter des actes plutôt qu'analyser des états (...)* »

(Claparède, 1934, p.69, cité par Theureau, 2006). De la même manière, l'expression de la conscience pré-réflexive qui est escomptée dans le recueil de données vise à ce que l'acteur « *pense, tout simplement, comme si, travaillant seul, il se parlait à soi-même* » (Claparède, *ibid.*). En somme, les verbalisations de l'acteur doivent raconter son vécu sans réflexion ou mouvement de conscience supplémentaire. Nous verrons plus tard que les conditions de recueil susceptibles de permettre cette position de l'acteur ne sont pas neutres, et appellent une *remise en situation* de l'acteur.

Le deuxième point est relatif directement à la méthode de recueil de ces verbalisations. Si les méthodes sont multiples (e.g., verbalisations simultanées et interruptives, entretien de remise en situation par les traces), c'est l'*entretien d'autoconfrontation* qui a été largement privilégié dans les études en général, et dans l'analyse des situations sportives en particulier. L'entretien d'autoconfrontation sert à documenter la conscience pré-réflexive à chaque instant et ouvrir ainsi à une analyse de l'activité qui soit une description symbolique acceptable du découpage structurel de l'acteur. De la sorte, l'entretien vise la description de l'activité du sujet, et non pas la perception que le sujet a de lui-même (bien que le principe même de l'autoconfrontation soit apparu dans des formes d'autoscopie, Theureau, 2006). A partir de l'usage que Von Cranach fait de l'autoconfrontation (i.e., forme d'entretien visant à documenter les ressorts de l'action dirigée vers un but), Theureau en fait une méthode de documentation de la conscience pré-réflexive qu'il définit comme autoconfrontation '*expressive de la conscience pré-réflexive*' ou autoconfrontation '*de remise en contexte dynamique*' ou encore autoconfrontation de '*remise en situation*' (pour la distinguer d'éventuels autres usages de l'autoconfrontation) (Theureau, 2006). Dans cette situation d'entretien, l'acteur est invité à décrire, commenter, montrer ce qui est significatif pour lui à chaque instant de son activité. La restitution de l'expérience vécue de l'intérieur se réalise pas à pas et en maintenant autant que possible la dynamique d'engendrement de cette expérience, ouvrant ainsi l'analyse de son activité à une description de la dynamique du champ de sensibilité de l'acteur considéré. Appréhendé de la sorte, l'entretien d'autoconfrontation permet de recueillir la subjectivité de l'acteur tel qu'engagé dans son activité, sans réfléchissement ou mouvement de conscience supplémentaire. Pour que cette restitution se passe bien, l'acteur doit être accompagné par un médiateur expérimenté (i.e., le chercheur) (e.g., Petitmengin, 2006a).

Le troisième point est relatif aux conditions de mise en situation de l'acteur au cours de l'entretien d'autoconfrontation permettant de recueillir des données relevant de sa conscience pré-réflexive. L'autoconfrontation recueille de façon différée ce qui est significatif pour l'acteur à chaque instant (dans un bref délai qui suit l'activité-cible). Ceci nécessite une *remise en situation d'activité* de l'acteur (i.e., une remise en contexte dynamique), qui est réalisée par sa confrontation à des traces très détaillées de son activité, de ses transformations ou des produits qu'il a réalisés. C'est classiquement un enregistrement audio-vidéo de cette activité qui est retenu dans les études

conduites en sport. Si l'entretien d'autoconfrontation ne vise pas l'introspection, c'est pourtant un des éléments fondateur de l'introspection qui est repris comme justifiant la possibilité d'une reconstruction mnémonique de cette activité, « *c'est l'idée qu'il y a des traces laissées dans le corps de l'acteur par l'activité passée et qu'on peut s'appuyer sur ces traces corporelles pour remettre l'acteur en situation* » (Theureau, 2006, p.193). L'ancrage de l'acteur dans ses traces corporelles est permis par une approche de l'entretien qui est contractualisée avec l'acteur en question, « *accord pour se remettre en contexte et expliciter sa conscience préreflexive et non pas analyser son activité* » (Theureau, 2006, p.200). Pour éviter la posture explicative et analytique, qui généralement intéresse l'acteur, le chercheur rassure l'acteur sur la possibilité de conduire une telle analyse dans un second temps. La posture analytique est donc reportée à une deuxième autoconfrontation (dite analytique ou de second niveau) ou à d'autres formes d'analyse de l'activité, ce qui permet à l'acteur d'entrer pleinement dans un *revécu* (sans action) favorable à une description détaillée rarement possible dans le déroulement même de l'activité (i.e., un *re-enactment* de son activité passée, Petitmengin, 2006a). La position de l'acteur escomptée peut nécessiter un temps d'appropriation plus ou moins long par l'acteur. Cette position est obtenue également par un partage culturel plus ou moins important entre l'interlocuteur et l'acteur, facilitant la description spontanée du vécu par l'acteur dans les termes qui sont ceux de son milieu et de la technicité de son activité. Dans ce sens, pour éviter que l'acteur raconte une histoire qui résume à l'interlocuteur la culture de l'activité, plus qu'elle ne parle de lui dans son activité à l'instant considéré, il est généralement conduit une enquête ethnographique préalable visant la construction d'un minimum de partage culturel (même si ce type d'enquête ne se résume pas à cette seule fonction dans l'analyse de l'activité).

Finalement, et sans être exhaustif, la conduite d'un entretien d'autoconfrontation visant à documenter la conscience préreflexive de l'acteur implique une réflexion sur le recueil des traces qui sont soumises à l'acteur pour stimuler son récit. Dans le cadre de la confrontation de l'acteur à un enregistrement vidéo, le plan de la caméra importe, afin de replonger autant que possible l'acteur dans sa propre peau et éviter de lui soumettre des informations (e.g., visuelles) auxquelles il n'avait pas accès, et susceptibles de perturber le *revécu* visé au cours de l'entretien. Les microphones, pas toujours positionnables auprès de l'acteur dans son activité, peuvent également gêner la remise en situation dynamique s'ils rendent compte d'un contexte sonore éloigné de celui dans lequel était ancrée l'activité étudiée. Également, ces conditions de recueil des traces doivent être pensées en relation avec l'activité-cible que l'analyste souhaite décrire, dans la mesure où elles doivent être les moins intrusives possible, afin de ne pas transformer/dénaturer les phénomènes observés. Dans le compromis à trouver entre reconstruction mnémonique et authenticité de l'activité, il faut ajouter des conditions de familiarisation des acteurs à la présence d'observateurs, notamment équipés de caméras, et/ou à la présence de capteurs divers embarqués.

En somme, et pour synthétiser la logique qui s'achève ici, nous avons présenté les présupposés paradigmatiques qui ont orienté (et orientent toujours) notre programme de travail relatif à l'analyse de l'activité humaine, en partant d'hypothèses très générales relatives aux systèmes vivants, pour aller vers quelques conditions épistémologiques clefs de leur mise en œuvre dans la recherche empirique sur l'activité humaine. Ce travail de cadrage nécessite maintenant d'aborder plus spécifiquement la question de l'activité collective.

PARTIE 2 - CHAPITRE 2

UNE CONCEPTION ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX



A partir d'une conception éactive de l'activité humaine, nos travaux ont pour l'essentiel traité de phénomènes liés à l'activité collective. Ainsi, à partir du cadre présenté ci-avant, nous développons désormais ces hypothèses en direction de la compréhension des phénomènes d'interaction humaine, et plus généralement en direction de la compréhension du fonctionnement des équipes. La présentation qui suit doit beaucoup aux travaux de De Jaegher et Di Paolo (2007) qui détaillent les hypothèses éactives relativement à la coordination de deux systèmes autopoïétiques. Nous tirons ensuite les conséquences de cette approche pour l'étude du fonctionnement de collectifs plus larges, nous conduisant à considérer les équipes comme des systèmes complexes dynamiques et adaptatifs (Arrow, McGrath, & Berdahl, 2000) et à reconceptualiser la *cognition collective*. De là, et pour anticiper les éléments qui vont être avancés, que devraient être les préoccupations centrales d'une théorie éactive de la cognition sociale ? Il est nécessaire de *i*) mettre la focale sur la notion d'interaction, *ii*) considérer les possibilités de description de la dynamique de la coordination interpersonnelle en elle-même, *iii*) démontrer le caractère possiblement autonome des couplages sociaux, et *iv*) définir les couplages sociaux comme des interactions incarnées et intelligibles en termes de construction conjointe de significations et en terme d'expérience subjective de cette construction conjointe.

APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX : METTRE AU CENTRE LA NOTION D'INTERACTION

« In our opinion, any approach that mentions interaction, but fails to go into the relational dynamics of the interaction process in detail, is simply not an interactive account and probably not even a social one, despite the goodwill driving it » (De Jaegher & Di Paolo, 2007, p.494)

Si la compréhension de ce qui fait l'autonomie du vivant a été logiquement le cœur des développements vareliens, des hypothèses relatives à l'activité collective ont été esquissées. Les couplages sociaux ont une spécificité qui mérite d'être clarifiée. A la différence du couplage acteur/environnement où seul l'un des deux termes de la relation est autopoïétique, un couplage social renvoie à l'interaction qui se produit entre deux unités autopoïétiques, c'est-à-dire entre deux unités autonomes délimitant chacune son domaine de perturbations. Bien qu'il existe déjà des conceptions de l'interaction humaine comme étant incarnée (e.g., Gallagher, 2001), ces conceptions ont généralement maintenu la focale sur l'individu et n'ont pas considéré le processus d'interaction comme étant central. Dans une approche éactive de la cognition sociale, l'interaction sociale n'est

pas seulement un contexte ou un processus facilitateur pour l'activité humaine, mais elle est le processus cognitif lui-même (De Jaegher, Di Paolo, & Gallagher, 2010). En décrivant l'interaction comme constitutive de la cognition sociale, l'approche énative va pouvoir comprendre le processus d'autonomisation de l'unité sociale en question (De Jaegher & Di Paolo, 2007).

Pour convaincre sur le rôle-clé que joue l'interaction située entre les individus dans leur activité collective, De Jaegher & Di Paolo (2007) reprennent à leur compte l'expérience de Murray et Trevarthen (1985) dans laquelle un enfant et sa mère interagissent en direct par écrans vidéos interposés. Les auteurs montrent que si l'on remplace soudainement le comportement de la mère par un enregistrement capturé plus tôt dans la même interaction (l'enfant est donc privé de l'interaction située), alors l'enfant devient immédiatement dérangé et se désintéresse de l'écran. De la sorte, ce ne sont pas toutes les facettes de l'expressivité de la mère, ou encore l'adéquation de l'image avec la représentation que l'enfant a de sa mère, qui rendent la communication intéressante pour l'enfant, mais le processus situé d'interaction lui-même, constitutif très tôt de la socialité humaine. L'interaction sociale représente donc un niveau d'analyse qu'il faut considérer pour lui-même. Ce point de départ résonne plus généralement avec les approches ayant mis la focale sur les interactions, telles l'approche de la *cognition collective interactive (Interactive Team Cognition)* de Cooke et collaborateurs (Cooke, et al., 2013a) et celle des groupes comme système complexes adaptatifs (Arrow et al., 2000 ; Davids, 2015). Ces approches argumentent ensemble la nécessité d'une approche « située » de la cognition collective, centrée sur les interactions se produisant entre acteurs, et conduisant à une description focalisée sur les processus d'articulation des activités individuelles.

LA THÉORIE DES SYSTÈMES DYNAMIQUES : DÉCRIRE LES CORRELATIONS COMPORTEMENTALES NON-ACCIDENTELLES

« For instance, when we observe a crowd of people walking on a busy road, the fact that they walk is not surprising, and we do not label this a case of coordination since walking is one of the things people do on a road (as opposed to, say, flying). But if we find that they are all walking in the same direction this could be a correlation, and if we suspect that this is not by accident, we can hypothesise the presence of a coordinating factor » (De Jaegher & Di Paolo, 2007, p.490)

Afin de mettre le processus d'interaction au centre, plusieurs auteurs ont basé l'approche énative des interactions sociales sur les concepts de la théorie des systèmes dynamiques (De Jaegher & Di Paolo, 2007 ; Froese & Fuchs, 2012 ; Laroche et al., 2014). La théorie des systèmes dynamiques offre notamment une conceptualisation des comportements de systèmes couplés. Dans

cette approche, la coordination est un processus dont les propriétés se dévoilent dans leur temporalité, et dont la dynamique fait émerger/apparaître certaines structures de coordination (i.e., ou *pattern*) identifiables seulement au niveau relationnel de la coordination interpersonnelle. Cette approche permet de décrire comment la coordination apparaît, se maintient, change et se rompt au cours de la *rencontre sociale*¹. L'approche des systèmes dynamiques appliquée à la coordination interpersonnelle constitue une étape première susceptible de révéler/argumenter l'autonomie même de ce couplage social (De Jaegher & Di Paolo, 2007). Ensuite seulement sont interrogés les phénomènes de construction de significations partagées qui accompagnent/s'immiscent dans cette dynamique de coordination interpersonnelle.

Tout d'abord, une coordination interpersonnelle est définie comme une corrélation non-accidentelle observée entre les comportements de deux ou plusieurs systèmes, c'est-à-dire l'identification d'une cohérence qui dépasse la probabilité observable par chance au regard de ce que ces systèmes sont capables de faire (De Jaegher & Di Paolo, 2007). Même si ce sont les dimensions spatiotemporelles des coordinations qui ont souvent été retenues pour descriptions empiriques, cette définition ne s'y réduit pas : par exemple, De Jaegher et Di Paolo (2007) illustrent de nombreux cas à partir du déroulement des conversations humaines. Les coordinations non-accidentelles qui se produisent entre deux systèmes sont omniprésentes. Elles s'observent autant dans les systèmes physiques (e.g., deux pendules oscillant contre un mur synchronisent leurs oscillations), dans les systèmes biologiques animaux (e.g., des lucioles régulent leur clignotement individuel sur la base du clignotement des autres lucioles), que lors du record du monde du « 100-mètres » en athlétisme (e.g., les foulées d'Usain Bolt se teintent des propriétés des foulées de Tyson Gay ; Varlet & Richardson, 2015), si bien qu'il est parfois difficile pour deux systèmes cognitifs d'éviter de se coordonner : Schmidt & O'Brien (1997) montrent que si l'on demande à deux individus oscillant des pendules de ne pas se synchroniser, leurs mouvements tendent tout de même vers la synchronie par des flux d'information visuelle difficiles à contrer.

De ce point de départ, De Jaegher & Di Paolo retiennent qu'il n'est pas nécessaire de postuler des mécanismes dédiés pour expliquer les phénomènes de coordination (e.g., des représentations mentales orientées vers l'interaction), mais plutôt que la coordination interpersonnelle est un phénomène naturel attendu dans de nombreux cas dès lors que les systèmes en présence présentent des propriétés similaires et peuvent échanger des flux d'information (visuelle, auditive, mécanique...). D'un point de vue empirique, l'approche dynamique des coordinations interpersonnelles a donné lieu à une multitude de travaux. Sans en détailler les apports empiriques et théoriques, la multiplicité des designs expérimentaux peut être commentée : à titre illustratif, ont

¹ Terminologie très générale, empruntée à De Jaegher & Di Paolo (2007) qui permet de rendre compte d'une forme de 'faire ensemble' sans présager une interaction sociale effective.

été étudiées les coordinations interpersonnelles de sujets oscillant respectivement leur membre supérieur, inférieur, un pendule, se balançant sur un rocking chair, ou encore ramant ensemble (i.e., aviron), dansant ensemble, jouant de la musique ensemble, s'opposant en duel en rugby, en basketball ou en boxe. Ensemble, ces travaux ont permis *i)* de mettre au centre la notion d'interaction, *ii)* de mobiliser des outils performants pour décrire la dynamique temporelle de coordination, *iii)* d'identifier certaines signatures de la dynamique des couplages sociaux (e.g., transitions de phase, rôle fonctionnel de la variabilité), et *iv)* de contribuer à la modélisation mathématique des processus de ces coordinations. Ces points seront repris dans les parties réservées aux apports empiriques de mes travaux et aux lignes de recherche poursuivies actuellement (Parties 3 et 4).

LE DOUBLE MOUVEMENT ASCENDANT/DESCENDANT SIGNE L'AUTONOMIE DU COUPLAGE SOCIAL

« Emergence through self-organization has two directions. First, there is local-to-global determination or 'upward causation', as a result of which novel processes emerge that have their own features, lifetimes and domains of interaction. Second, there is global-to-local determination, often called 'downward causation', whereby global characteristics of a system govern or constrain local interactions. This aspect of emergence is less frequently discussed, but has long been noted by researchers in the field of complex dynamical systems. »
(Thompson & Varela, 2001, p.419)

Si la description des phénomènes de coordination interpersonnelle aide à appréhender l'interaction sociale comme un processus en train de se faire, une approche énaïve se doit d'aller au-delà de l'analyse des coïncidences spatiotemporelles de deux agents qui s'influencent mutuellement. Un pas supplémentaire est nécessaire qui considère l'*autonomie* de ce couplage social, c'est-à-dire qui décrit comment la dynamique de l'interaction produit un pattern identifiable, ayant sa propre structure interne et pouvant jouer un rôle non accessoire dans le processus de compréhension de l'autre et du monde.

Pour argumenter cette autonomie des couplages sociaux, il est utile de considérer deux mouvements. Premièrement, l'articulation pas à pas des activités individuelles façonne les caractéristiques de la coordination interpersonnelle qui émerge à un niveau macroscopique d'analyse. Ce mouvement est dit ascendant et s'observe dans les couplages sociaux de nombreux systèmes autopoïétiques, notamment chez les animaux/insectes témoignant de comportements en essaim (Garnier, Gautrais, & Theraulaz, 2007). Deuxièmement, à la différence de nombreux systèmes physiques, les humains (i.e., les *interactants*) sont des systèmes hyper-plastiques susceptibles d'être facilement affectés par l'histoire de leur coordination (De Jaegher & Di Paolo, 2007). Cette propriété, prégnante dans les systèmes humains, conduit à ce que les patterns de coordination puissent

influencer directement la régulation en cours des interactants (Froese & Di Paolo, 2011). Autrement dit : les interactants humains peuvent réguler leur comportement en prenant simultanément en compte ce qu'ils font émerger à un niveau relationnel de description, c'est-à-dire ce qu'ils produisent collectivement². De la sorte, les événements se produisant au niveau de la coordination interpersonnelle peuvent venir contraindre/gouverner la rencontre sociale, c'est-à-dire faciliter (ou non) le décours de l'articulation des activités individuelles. Quand ce double mouvement est en place (de la dynamique locale de la rencontre sociale vers la coordination, et inversement), alors un couplage social autonome est en place, c'est-à-dire une interaction sociale au sens fort. A titre illustratif, dans une étude récente (Romero, Kallen, Riley, & Richardson, sous presse) les expérimentateurs demandaient à des paires de sujets (assis côte-à-côte) de se synchroniser pour pointer respectivement une cible avec leur membre supérieur. Les auteurs ont montré que les patterns de synergie interpersonnelle étaient plus marqués que les patterns individuels de coordination motrice. Ces résultats illustrent la force et les effets du couplage social qui conduit les acteurs à agir prioritairement comme des interactants, minorant en conséquence les signatures de leur activité individuelle. En devenant un interactant, l'individu devient le jeu d'un double mouvement ascendant/descendant qui délimite le cadre et les formes d'expression de son autonomie.

En somme, dans le cadre d'une épistémologie éactive, ce que nous venons de décrire n'est rien d'autre qu'un processus auto-organisé, conduisant à l'émergence d'une unité sociale autonome qui, pour être décrite, appelle l'articulation de niveaux d'analyse individuel et relationnel. Cette combinaison des niveaux d'analyse, sous l'appellation d'une *approche multi-niveaux*, a également été présentée dans d'autres approches du fonctionnement collectif comme la clé ouvrant à description des phénomènes d'émergence (i.e., ascendants) et de causalité descendante (i.e., descendants) (e.g., Cooke et al., 2013a ; Humphrey & Aime, 2014 ; Kozlowski et al., 2013). Elle est également une des possibilités forte offerte par le cadre théorique et méthodologique du Cours d'action (Theureau, 2006) qui, dans sa volonté de maintenir un primat à l'analyse de l'activité individuelle pour ensuite reconstruire les niveaux supérieurs d'organisation, est susceptible de permettre facilement une telle description multi-niveaux. Nous y reviendrons dans la partie réservée à nos apports empiriques : en croisant la description de la concaténation des autonomies individuelles (i.e., articulation des activités individuelles) avec celle de l'autonomie collective (i.e.,

² Si cette propriété est fondamentale dans les possibilités de coordination interpersonnelle chez les humains, rien ne dit qu'elle est réservée à l'espèce humaine. Perna et collaborateurs (Perna, Kuntz, Theuraulaz, & Jost, 2012) montrent par exemple qu'il est possible d'admettre que les termites ancrent leur comportement local dans une forme d'estimation des propriétés globales de la termitière. Hanson (1978) montre que la façon dont la luciole scintille n'est pas exempte d'une influence descendante provenant du scintillement des autres lucioles de la vallée.

réduction opératoire de l'activité collective), il devient possible de décrire les formes empiriques d'actualisation de ce double mouvement (e.g., Bourbousson et al., 2015).

LES COUPLAGES SOCIAUX ONT UNE AUTONOMIE « LABILE »

« Nous avons montré, en effet, que l'unité du groupe est immanente à la multiplicité des synthèses, dont chacune est praxis individuelle, et nous avons insisté sur le fait que cette unité n'était jamais celle d'une totalité faite mais celle d'une totalisation qui se fait par tous et partout. Ainsi l'intelligibilité du groupe comme praxis se fonde sur l'intelligibilité de la praxis singulière, en tant que celle-ci s'est perdue puis retrouvée à l'intérieur du champ pratico-inerte » (Sartre, 1960, p.432, cité par Theureau, 2006)

L'existence d'un double mouvement (ascendant et descendant) dans le couplage social n'est jamais garantie : les patterns relationnels émergents sont maintenus (et identifiables) tant que le processus en cours d'articulation des activités individuelles n'est pas interrompu. Dès lors qu'un événement interne (e.g., activité d'un des interactants) ou externe (e.g., perturbation environnementale) vient perturber le processus d'interaction social, la nature même des flux d'influence inter-acteurs est changée, voire rompue, remettant en cause l'identité même de l'unité sociale.

Le caractère précaire des unités de troisième ordre provient du caractère *labile* de leur autonomie : l'identité de l'unité sociale peut-être dissoute subitement et à moindres frais. Pour préciser ce que recouvre cette labilité de l'autonomie des systèmes sociaux, il est utile de revenir sur la notion de *frontière*, indispensable à la constitution d'un système autonome dans l'approche énative. Deux systèmes autopoïétiques se perturbent mutuellement lorsque se construit une interaction réciproque dans laquelle un système s'adapte à un autre système qui lui-même s'adapte. La causalité récursive qui s'installe entre les deux systèmes amène un nouveau domaine de phénomènes, dits phénomènes sociaux, ou *domaine consensuel* de phénomènes (à la différence du *domaine cognitif* de phénomènes qui renvoient à l'activité individuelle) (Varela, 1989b). Si l'on considère qu'une cellule constitue une unité dite de premier ordre, qu'un ensemble de cellules constitue une unité de deuxième ordre, alors ici, lorsque deux unités de deuxième ordre sont mutuellement couplées et font émerger un domaine consensuel de phénomènes, le système social constitue une unité de troisième ordre : *« Tous les systèmes sociaux, à chaque fois qu'ils surgissent – à condition qu'ils durent quelques temps – engendrent une phénoménologie interne particulière, dans laquelle les ontogénèses individuelles de tous les organismes participant ont fondamentalement lieu comme faisant partie du réseau de co-ontogénèses qu'ils font émerger en constituant les unités du troisième ordre. Du fait que la constitution d'un système social implique la co-ontogénèse de ses*

composants, il implique que leur couplage structurel réciproque et tout organisme en particulier n'est membre d'une unité sociale que s'il fera partie de ce couplage structurel » (Maturana & Varela, 1994, p.180). Si l'autonomie d'une unité de deuxième ordre est maintenue tant que le système est vivant, l'autonomie d'une unité de troisième ordre n'est jamais acquise, du fait notamment des propriétés de la *frontière* de tels systèmes. Comme la frontière d'un système social n'est pas une membrane, alors celle-ci est sans cesse remise en cause par l'autonomie des unités le constituant (i.e., les humains). De la sorte, la frontière d'un système social, qui se définit plus d'un point de vue phénoménologique que spatiotemporel, est susceptible d'être rompue à chaque instant, rendant la clôture opérationnelle de tels systèmes fondamentalement labile (i.e., se constituant et se délitant dans le décours de l'activité). Ainsi, des systèmes sociaux autonomes dans leur comportement collectif apparaissent et disparaissent dans le décours de l'agencement des activités individuelles (i.e., en respectant les deux sens des flux d'influence : les individus construisent à chaque instant la rencontre sociale, et la rencontre les affecte en les maintenant en tant qu'interactant).

La volonté de mettre la focale sur cette construction/déconstruction permanente du couplage social se retrouve dans le programme de recherche du Cours d'action. C'est notamment ce qui vaut les références appuyées de Theureau à l'inspiration sartrienne relative à l'activité collective et incidemment à ce que pourrait être un cours d'action collectif, conduisant Theureau à l'aphorisme suivant : *Le collectif est une "totalité" constamment "dé-totalisée" par l'activité de ses composants* (Theureau, 2006, p.95), conduisant à appréhender le fonctionnement collectif à partir des pratiques individuelles et de leurs relations. Cette approche de l'interaction sociale, où chaque état de coordination est une construction, de même qu'il pèse sur le suivant, tout en reliant les activités individuelles et les états collectifs simultanés, revient à « *décrire finalement la croissance d'un système adaptatif* » (De Jaegher & Di Paolo, 2007, p.496), soit-il collectif.

Cette conception du collectif comme système adaptatif et sans cesse remis en cause par l'interaction même entre les membres a des conséquences épistémologiques. En effet, les individus ne sont pas conçus comme étant de façon première des *ready-made interactors* (De Jaegher & Di Paolo, 2007), c'est-à-dire comme devant seulement actualiser leur disposition à l'interaction (soit-elle construite sur des représentations, des neurones miroirs, ou des formes pré-données de coordination), mais les individus co-émergent en tant qu'interactants, et peuvent à tout instant (sans que ce soit nécessairement de leur fait) voire leur activité d'interactant être rompue au cours d'une interaction sociale structurée et structurante. De la sorte, c'est toute une critique de l'individualisme méthodologique (qui ne met pas l'interaction au centre) et du collectivisme méthodologique (qui ignore les éléments individuels qui construisent l'interaction) qui est associée et généralement développée en prélude à de telles approches (e.g., Arrow et al., 2000 ; Cooke et al., 2013a ; Humphrey & Aime, 2014 ; Kozlowski et al., 2013 ; Theureau, 2006). Ainsi, sans contester les

possibilités de pré-disposition à l'activité collective (soient-elles individuelles ou collectives), l'enjeu est de considérer plutôt la façon dont elles vont se déconstruire en temps réel au cours de la coordination, de par l'inscription dynamique et contextuelle de ce couplage social précaire. Décrire la manière dont les interactants font face à l'inscription contextuelle de l'interaction est ainsi susceptible d'éclairer le processus de construction/déconstruction de leur couplage social, c'est-à-dire de l'agencement de leurs autonomies individuelles pour construire, parfois et de façon transitoire, les conditions d'une forme d'autonomie collective.

En somme, et pour avancer vers l'étape argumentaire suivante, un couplage social est régulé activement par les interactants (Di Paolo, 2005), générant de la sorte un domaine relationnel propre. La dynamique relationnelle résultante est autonome en respect d'une clôture opérationnelle précaire qui définit elle-même ses événements et ses processus, qu'ils soient internes ou externes à l'interaction. Cette conception va permettre de relier la dynamique de coordination avec la construction conjointe de significations. Il s'agit maintenant de décrire comment de la signification est générée et transformée dans et par les coordinations interpersonnelles.

LES COUPLAGES SOCIAUX ONT LEUR PHÉNOMÉNOLOGIE

*« If regulation of social coupling takes place through coordination of movements, and if movements – including utterances – are the tools of sense-making, then our proposal is: social agents can coordinate their sensemaking in social encounters. This means that the sense-making of interactors acquires a coherence through their interaction and not just in their physical manifestation, but also in their significance. This is what we call participatory sense-making: the coordination of intentional activity in interaction, whereby individual sense-making processes are affected and new domains of social sensemaking can be generated that were not available to each individual on her own. »
(De Jaegher & Di Paolo, 2007, p.497)*

Comment la coordination interpersonnelle affecte la compréhension du monde, notamment la compréhension de l'activité d'autrui ? Inversement, comment la compréhension située de l'activité d'autrui affecte la coordination interpersonnelle produite ? Dit autrement, une approche éactive vise la description de la manière dont une activité coordonnée dans le monde a quelque chose à voir avec les phénomènes de conscience, et plus particulièrement la capacité des protagonistes à partager des significations et à se comprendre l'un l'autre. Premièrement, il est utile de préciser que les phénomènes de coordination interpersonnelle ne sont pas tous des phénomènes d'interaction sociale au sens éactif du terme. Des corrélations interpersonnelles non-accidentelles peuvent être observées sans être le fruit d'une *régulation active* par les individus eux-mêmes. A titre illustratif, le cas d'un individu qui sort de chez lui tous les matins à la même heure qu'un autre

individu habitant d'une autre ville (i.e., ils partent chacun travailler à la même heure) témoigne d'un couplage (i.e., un pattern spatiotemporel est identifiable) qui ne rentre pas dans la définition de ce qu'est une *interaction sociale* pour l'approche éactive (de Jaegher & Di Paolo, 2007). Aucun des deux protagonistes de l'illustration n'exerce de régulation active de leur coordination interpersonnelle, aucun d'eux n'a l'identité d'un *interactant*, et leur mondes-propres respectifs à cet instant ne se co-déterminent d'aucune manière (aucun n'est une source de perturbation pour l'autre). Ce cas est le plus extrême des cas de corrélation comportementale ; il est en quelque sorte un leurre spatiotemporel puisque n'impliquant aucune régulation des acteurs de leur coordination (i.e., soit-elle implicite ou explicite), et n'induisant incidemment aucune possibilité de construction de significations partagées.

Premièrement, l'approche éactive des couplages sociaux considère que, dans les situations authentiques d'interaction sociale, la coordination va affecter la construction de significations individuelles. En effet, dans la mesure où, comme pour toute activité qui ne serait pas directement sociale, le vécu expéientiel est inscrit au cœur de l'action, alors l'activité individuelle de construction de significations est nécessairement affectée si l'individu régule activement la coordination interpersonnelle dans laquelle il est engagé. Deuxièmement, l'approche éactive des couplages sociaux considère que les activités individuelles de construction de significations peuvent se coordonner entre elles. En effet, puisque la régulation du couplage social se fait par la coordination des mouvements, et puisque les mouvements servent la construction de significations, alors les individus peuvent coordonner leurs mondes propres dans leurs rencontres sociales. Ainsi, peut se créer entre interactants une convergence qui n'est pas seulement observable physiquement, mais qui relève des vécus subjectifs qui accompagnent ces mouvements. Cette convergence virtuelle entre les mondes propres projetés par chacun renvoie à ce que De Jaegher & Di Paolo (2007) appellent *participatory sense-making*. Cette *participation à la construction de significations partagées* apparaît lorsque les processus individuels d'attribution de significations sont affectés par l'autrui interactant, qu'un nouveau domaine de significations sociales est généré, et que ce domaine n'est pas la propriété de l'un des deux interactants. La cohérence qui se crée entre les activités de construction de significations et les patterns comportementaux de coordination qui la permettent ne relèvent ni d'une simple superposition entre des phénomènes physiques et des phénomènes subjectifs, ni de la priorisation d'un ordre de phénomènes sur l'autre (i.e., faisant de l'autre un épiphénomène), mais concrétise l'inscription corporelle et sociale de la cognition, et constitue *in fine* ce qu'est la cognition collective. De Jaegher & Di Paolo (2007) résument ces éléments dans la formule suivante : « *Il faut définir le social comme une interaction incarnée, (...) intelligible en termes de construction conjointe de significations et en termes d'expérience subjective de cette construction conjointe* » (p.489).

Ensuite, comme dans de nombreuses conceptions situées de l'activité, si les significations construites et engagées dans le processus de coordination interpersonnelle se jouent dans l'instant, elles engagent également des éléments de pré-coordination (i.e., au sens où elles sont pré-données indépendamment de la dynamique locale des couplages structurels) (Di Paolo et al., 2010). Ces éléments de pré-coordination relèvent à la fois des ontogénèses respectives des systèmes autopoétiques et de leur phylogénèse, le tout faisant que la manière dont la coordination interpersonnelle est vécue puise dans l'histoire des couplages structurels respectifs des interactants. Ce déjà-là qui oriente/aide à la compréhension située en train de se faire peut être décrit comme relevant d'éléments de *culture*. Cette culture peut être propre à chaque individu, ou partagée entre les interactants. Elle peut être partagée entre des interactants spécifiques dont les co-ontogénèses délimitent une forme de référentiel commun (nous y reviendrons dans la Partie 3 relative à nos travaux empiriques), ou relever de formes plus trans-individuelles par lesquelles des modes d'interprétation sont « transmis » entre générations. Sans être exhaustif sur cette dimension cultivée de toute activité située, il est notable que ce processus a été l'objet de multiples approches autres que l'approche énative (e.g., Théorie de l'activité et approches néovygotkiennes), et que cette dimension a jusqu'alors été relativement négligée dans le cadre des théorisations énatives des couplages sociaux (Froese & Fuchs, 2012)

LE SPECTRE DES COUPLAGES SOCIAUX

« The coherence of sense-making activities and the coordination patterns that enable it do not relate as simple mappings but in a range of ways that can be conceived as sitting on a spectrum of participation. On one end of the scale, we find cases where sense-making remains largely an individual activity that is at most modulated by the existence of coordination in interaction. At the other end of the spectrum, where participation is highest, we find the sophisticated cases where we fully and directly participate in a joint process of sense-making and the whole sense-making activity becomes a shared one. » (De Jaegher & Di Paolo, 2007, p.497)

La relation d'interdépendance entre la construction de significations partagées et les patterns de coordination peut se concrétiser de plusieurs manières. Ces différentes manières de réguler/construire ensemble des significations s'échelonnent entre des formes minimales d'interaction (e.g., observation en troisième personne) et des formes plus sophistiquées (e.g., significations créées conjointement), formant ainsi un *spectre de participation* (De Jaegher & Di Paolo, 2007). Ce spectre de participation permet d'illustrer la complexité/précarité du couplage entre deux systèmes autonomes, en même temps qu'il permet d'augurer des formes variées d'actualisation empirique des couplages sociaux.

Le spectre de participation à la construction de significations partagées est très large. Si l'on s'intéresse à la partie basse du spectre, et si l'on décrit cette interaction à la fenêtre de l'un des deux systèmes autopoïétiques, le deuxième système peut agir, simplement, comme une source supplémentaire de perturbations, au même titre que le reste des perturbations environnementales. A titre illustratif, un tireur embusqué qui ajuste le déplacement de son arme à celui de sa cible entre dans ce cas (en considérant que la cible en question ignore le tireur), dans la mesure où le deuxième système autopoïétique n'est pas lui-même perturbé par le premier. Ce type de couplage social n'est pas d'une autre nature que le couplage structurel décrit relativement à la compréhension de l'activité individuelle. L'individu qui régule son activité s'engage cognitivement avec autrui de la même manière qu'avec son monde non-social : autrui, dans ce cas, devient simplement un outil, un objet, ou éventuellement un problème pour la cognition individuelle (De Jaegher & Di Paolo, 2007). Ici, la rencontre sociale ne positionne qu'un des deux individus en tant qu'interactant. La construction de significations est une activité qui reste individuelle : si la construction de significations de l'interactant intègre l'activité autrui, la réciproque n'est pas vraie. Aucune signification partagée n'est construite. Au mieux le monde propre de l'interactant est modulé par l'existence de la coordination.

En remontant vers le centre du spectre, le deuxième cas positionne les deux individus en tant qu'interactants. L'activité individuelle de construction de significations de chacun puise dans (et est contrainte par) la dynamique de leur coordination que chacun interprète en tant que telle. Pour autant, aucun des interactants ne parvient pleinement à réguler la dynamique de cette coordination dont la direction semble finalement échapper aux interactants. A titre illustratif, Granic (2000) relate le cas où un parent et son enfant produisent une conversation qui les conduit à la dispute, sans que cette dynamique conversationnelle n'ait été véritablement régulée dans cette direction par l'une des parties. D'un point de vue plus conceptuel, ce cas illustre l'irréductibilité des niveaux d'analyses, dans la mesure où la dynamique des activités individuelles isolées ne permet pas de comprendre la dynamique collective résultante de leur interaction. Également, dans ce cas précis, la dynamique de coordination observable (i.e., le produit collectif) est hétérogène des phénoménologies qui la produisent. Dit autrement, deux systèmes autopoïétiques peuvent se perturber mutuellement et produire une dynamique de coordination autonome, sans que cette coordination ne recoupe la perspective propre de chacun des systèmes, illustrant de la sorte la distance potentielle qui sépare les autonomies individuelles de l'autonomie collective. Ici, la téléologie du système, ne se réduisant pas aux perspectives individuelles, échappe aux interactants eux-mêmes et à leur régulation propre.

Ensuite, un autre niveau réfère aux cas où les interactants construisent des significations partagées, avec une convergence de ces significations en direction de celles de l'un des individus. Dans ce cas, un des interactants (i.e., l'orienté) va s'orienter vers un nouveau domaine de

significations qui faisait partie de l'activité signifiante de l'autre (l'orienteur). Pour cela, un des protagonistes exprime/donne à voir sa compréhension du monde avec pour effet d'influencer la construction de significations de l'autre. Autrement dit, le premier externalise sa perspective propre, afin d'orienter le devenir de la perspective du second et faire en sorte que celui-ci considère les possibles de l'activité de la même manière. Plus spécifiquement, ce cas se scinde en deux cas aux degrés de participation croissants. Dans le premier cas, le protagoniste orienté n'engage pas de régulation spécifiquement dirigée vers l'interaction, sans qu'il soit pour autant passif dans la mesure où il engage de façon autonome sa construction de significations en direction du monde escompté par le protagoniste orienteur (e.g., l'orienteur attire l'attention de l'orienté sur un événement). Dans le second cas, l'orienté va engager une régulation directe de l'interaction, bien que l'issue n'en soit pas changée, à savoir voire sa perspective propre converger avec celle escomptée par l'orienteur (e.g., l'orienteur converse avec l'orienté pour changer ses affects).

Finalement, tout au bout du spectre se figure un dernier cas dans lequel les interactants régulent chacun l'interaction, coordonnent leurs activités signifiantes et construisent *in fine* une perspective nouvelle qu'aucun des deux protagonistes ne détenait en amont de l'interaction. Ce cas est le plus sophistiqué dans la mesure où les interactants participent directement et pleinement à un processus conjoint de construction de significations partagées. Les interactants vont au-delà de réguler respectivement l'interaction en s'engageant véritablement dans un processus conjoint de co-construction qui fait émerger un nouveau domaine signifiant (e.g., situations où la construction de significations partagées est le but de la collaboration : brainstormer, construire un diagnostic partagé, une stratégie participative). En quelque sorte, ce nouveau domaine de significations constitue la phénoménologie de l'unité sociale, et est irréductible aux perspectives individuelles en même temps qu'il s'ancre dans leurs activités et leur direction pour se constituer. Selon De Jaegher et Di Paolo (2007), la circularité action/perception classiquement utilisée pour décrire l'activité individuelle de construction de significations prend ici une dimension collective, et du sens est créé à travers la stabilisation de patterns d'activité conjointe. C'est le plus haut degré de participation à la construction de significations, et le plus haut degré de sophistication du *domaine consensuel* de phénomènes observable dans les systèmes sociaux.

AUTRUI : ENTRE TRANSPARENCE ET OPACITÉ

« Unlike a sponge, the other-in-interaction is not fully and lawfully constituted by my sense-making activity. The sponge becomes an object in itself when confronted by my sense-making. It is experienced as complete as far as my practical interests are concerned. By contrast, from a purely individual perspective, the other-in-interaction is available to me in this way only partially. Her autonomy demands frequent readjustments of my individual

sense-making. When interaction and individual intentions coordinate, we feel mutually skilful to navigate the interaction: we experience a kind of transparency of the other-in-interaction.» (De Jaegher & Di Paolo, 2007, p.503)

En somme, et pour synthétiser les conséquences de l'approche éactive des couplages sociaux, deux éléments peuvent être retenus. Premièrement, quel statut prend autrui dans l'activité d'un interactant ? Nous avons vu que l'autonomie d'autrui demande à son interactant de fréquents réajustements dynamiques de sa construction individuelle de significations. De la sorte, pour un protagoniste donné, autrui dans l'interaction n'est disponible que partiellement. Pour autant, parfois les perspectives propres de chacun des individus se coordonnent, alors les interactants se sentent compétents dans la régulation de l'interaction, et ils sont dans ces cas susceptibles d'expérimenter une forme de *transparence* de l'autre dans le processus d'interaction (e.g., Poizat, Bourbousson, Saury, & Sève, 2009). Mais lorsque, pour une variété de raisons, une rupture se produit dans la dynamique de coordination, les individus sont alors susceptibles d'expérimenter autrui comme étant relativement *opaque*, jusqu'à ce qu'un pattern de coordination soit de nouveau atteint. C'est le principe fondamental de l'autonomie du vivant, et avec elle l'auto-détermination par l'acteur de son monde propre (i.e., asymétrie de son couplage structurel) qui conduit à cette ambivalence de la relation à autrui : autrui (engagé dans l'interaction) n'est pas vécu comme totalement obscur et inaccessible, ni complètement transparent (comme le serait un objet que l'acteur constitue comme tel par son activité signifiante), mais comme quelque chose d'autre, un motif protéiforme ayant des surfaces connaissables et non-connaissables, des airs de familiarité qui se dévoilent dans l'interaction (De Jaegher & Di Paolo, 2007). Les formes que prend l'interaction avec autrui ne sont pas totalement étranges à l'interactant, notamment parce qu'il contribue à les former.

Deuxièmement, des conséquences méthodologiques sont associées à cette approche, et sont résumées par De Jaegher et Di Paolo (2007) en deux préconisations. Tout d'abord, il est nécessaire de considérer la mesure de la coordination comme une question très importante. Pour explorer ces possibilités, il est certainement heuristique de puiser son inspiration dans l'analyse du mouvement (e.g., outils de la théorie des systèmes dynamiques). Cependant, toute mesure en troisième personne de la coordination nécessite d'être complétée par une analyse disciplinée de l'expérience de l'interaction que font les interactants, notamment pour décrire la manière dont ils se connectent dynamiquement en situation. De la sorte, une approche éactive des couplages sociaux argumente en faveur de programmes de recherche qui combinent la recherche empirique en psychologie et/ou en sciences sociales avec de la modélisation synthétique et dynamique, le tout en maintenant une considération pour la phénoménologie (De Jaegher & Di Paolo, 2007).

PARTIE 2 - CHAPITRE 3

REDEFINIR CE QU'EST LA COGNITION COLLECTIVE



Comme nous l'avons montré avec l'énoncé de la logique énaïve, toute coordination interpersonnelle humaine, pour autant qu'elle soit activement régulée par les protagonistes, est fondamentalement *cognitive* (Di Paolo, 2005). De la sorte, cette coordination interpersonnelle ne peut être rendue intelligible à partir de postures scientifiques relativement athéoriques (e.g., études mécaniques), c'est-à-dire ne visant pas la contribution à une théorie de l'activité humaine. Dans la mesure où notre travail de recherche vise des apports empiriques et théoriques qui contribuent à déplacer les lignes de la littérature relative au fonctionnement des équipes (i.e., et pas seulement une contribution à l'avancement de notre programme de recherche), nous avons ancré nos travaux dans une discussion avec le courant dit de la *Team Cognition*, c'est-à-dire l'étude des processus à l'œuvre dans les équipes qui témoignent de formes de *cognition collective*. A partir de l'approche énaïve des couplages sociaux que nous venons de développer et de ses conséquences en termes de définition de l'activité collective, nous sommes en mesure de poser quelques jalons qui permettent une étude de la cognition collective respectueuse des présupposés énaïves. Ces jalons résonnent alternativement avec certains travaux théoriques récents existant dans la littérature scientifique, notamment les cadres théoriques suivants : *Interactive Team Cognition* (Cooke et al, 2013a), *Team Micro-dynamics* (Humphrey & Aime, 2014), *Multilevel Research Design for Capturing the Dynamics of Emergence* (Kozlowski et al., 2013), *Intrateam Longitudinal Approach to the Study of Team Process Dynamics* (Li & Roe, 2012 ; Roe et al., 2012), *Groups as Complex Adaptive Systems* (Arrow et al, 2000), et *Intersubjectivity as Group Cognition* (Stahl, 2015, sous presse). Nous devons beaucoup à ces travaux dans la réalisation de la synthèse qui suit. Cette synthèse est organisée autour des six aphorismes suivants qui nous conduiront à proposer une définition de la cognition collective : *i) les équipes sont des systèmes complexes adaptatifs, ii) la cognition collective est une activité indexée à un contexte, iii) les interactions entre les membres sont la cognition collective, iv) la cognition collective est un phénomène multi-niveaux, et v) la cognition collective est un phénomène dynamique (i.e., temporel), et vi) l'articulation des constructions de significations façonne la cognition collective.*

LES ÉQUIPES SONT DES SYSTÈMES COMPLEXES ADAPTATIFS

« We treat groups as adaptive, dynamics systems that are driven by interactions both among group members and between the group and its embedding contexts. We do not believe that groups can be adequately understood as collection of independently acting individuals. Instead, we focus our attention on relationships among people, tools and tasks, activated by a combination of individual and collective purposes and goals that

change and evolve as the group interacts over time. » (Arrow et al., 2000, p.3)

La perspective majoritaire d'analyse de la cognition collective conduit l'étude des modèles mentaux partagés par les membres de l'équipe devant se coordonner (i.e., *shared mental models*, Cannon-Bowers et al., 1993). Ce cadre théorique étend les hypothèses computationnalistes individuelles en direction de la compréhension du fonctionnement des équipes. Postulant qu'un individu agit dans le monde grâce à la structure et à la précision de ses modèles mentaux qui lui permettent de générer des attentes sur la situation compatibles avec le devenir réel de cette situation, le fonctionnement collectif est supposé rendu possible par la construction (par chacun) de nouvelles connaissances en mémoire à long terme et qui vont porter notamment sur les besoins en coordination (i.e., *teamwork knowledge*). Ensuite, au-delà de l'acquisition de cette nouvelle forme de connaissance, les auteurs considèrent que c'est leur degré de similarité entre les membres qui permet le mieux d'expliquer la variance des performances des équipes. Cette perspective classique a été décrite comme relevant d'un individualisme méthodologique (Cooke et al., 2013a) et conduisant à une conception *agrégative* du fonctionnement collectif. En effet, cette perspective fait de l'individu l'unité d'analyse première, de sorte que l'équipe est appréhendée comme une collection d'individus : les connaissances partagées sont le résultat d'une agrégation des connaissances individuelles, proportionnellement et linéairement. Or, les équipes peuvent produire des comportements collectifs intelligents, comme les individus. Ceci demande une méthode d'intégration des perspectives de chacun qui permette d'appréhender les phénomènes d'émergence de propriétés cognitives nouvelles, non-réductibles au contenu des cognitions individuelles. Ainsi, les équipes ne peuvent pas être considérées autrement que comme des systèmes cognitifs dynamiques dans lesquels la cognition collective est émergente, ne pouvant ainsi être attribuée à aucun des composants de l'équipe, ni à la cognition partagée des membres (i.e., modèles mentaux partagés) mais à l'équipe comme un tout agissant dans un environnement changeant (Cooke et al., 2013a). De la sorte, ces éléments résonnent avec les principes des systèmes complexes dont une propriété-clé est de produire des phénomènes d'ordre collectif qui sont plus que la somme de leurs parties (Gleick, 1989). De la sorte, considérer les équipes comme des systèmes complexes adaptatifs (Arrow et al., 2000) permet de disqualifier d'emblée la perspective agrégative. En quoi la perspective des systèmes complexes, appliquées au cas des collectifs humains permet-elle d'appréhender l'intégration des cognitions individuelles ?

Tout d'abord, pour comprendre ce qu'est un système complexe : un système complexe est un ensemble d'éléments en interaction qui intègre une certaine variabilité intrinsèque, liée à l'indétermination (ou inversement un déterminisme chaotique) de la structure collective que le

système essaie de maintenir au gré des perturbations de son environnement. Cette indétermination intrinsèque du comportement du système produit une structure évolutive, c'est-à-dire qui change et réorganise ses composants pour s'adapter lui-même aux aléas qu'il rencontre. Pour comprendre un système complexe, il est nécessaire de considérer le système comme une totalité, et d'en conduire l'étude sans le décomposer en constituants, sous peine de perdre les propriétés fondamentales qui en font un système complexe. Assez naturellement, l'approche des systèmes complexes a formulé de nombreuses réserves relativement à l'approche réductionniste classique qui prévaut en sciences et qui décompose les phénomènes en un certain nombre d'éléments traitables analytiquement et séparément, espérant par agrégation fournir une compréhension du système entier. L'imprédictibilité intrinsèque des systèmes complexes provient au moins de deux sources : les interactions nombreuses et récursives qui se produisent entre les constituants, et l'inscription de chaque niveau d'organisation du système dans un registre autonome de perturbations qui rend la compréhension des effets environnementaux sur les réponses du système non-probabiliste. De plus, les systèmes complexes acquièrent leur autonomie en stabilisant des patterns d'interaction entre les composants du système. Ces patterns, sans cesse remis en cause par l'activité même du système, ont pour effet d'orienter le comportement du système vers la tendance à maintenir/affirmer ces patterns, ce qui peut aussi être décrit comme une forme de pro-activité sur le monde, dans la mesure où le système fait émerger en temps réel des états globaux stables qui se sont montrés viables dans l'ensemble des configurations de contraintes qu'il a rencontrées dans son histoire.

Ensuite, il est à noter que si l'approche des systèmes complexes dynamiques et adaptatifs a été convoqué à de nombreuses reprises pour rendre compte de phénomènes émergents variés, c'est sa mobilisation dans la compréhension du fonctionnement des collectifs humains qui fait de l'ouvrage de Arrow et de ses collaborateurs un des développements les plus ciblés pour notre propos (Arrow et al., 2000). L'enjeu est de décrire comment un collectif humain exhibe les propriétés d'une entité autonome qui doit en permanence faire avec l'activité individuelle de ses membres (i.e., les intentions, buts, perceptions des membres), ainsi qu'avec les contraintes environnementales dans lesquelles il est situé. Les auteurs reprochent au paradigme positiviste/analytique dominant d'avoir considéré les collectifs comme des systèmes isolés, pour lesquels le seul élément important les reliant à leur contexte était le stimulus ou la tâche imposée par l'expérimentateur, voire même d'avoir produit des travaux qui installent tout un arsenal méthodologique visant à s'affranchir des effets contextuels. Or, un collectif considéré comme un système complexe exhibe un comportement qui résulte du couplage fondamental de ce système avec son environnement. De plus, le collectif s'organise autour de lois qu'il s'est donné lui-même par son histoire de développement et qui participent de façonner sa relation aux perturbations qu'il rencontre, rendant les modèles généraux, causalistes et unidirectionnels particulièrement inappropriés pour l'étude du fonctionnement

collectif humain (Kozlowski et al., 2013). À l'inverse, les auteurs suggèrent que les collectifs humains sont des systèmes agissants constamment engagés dans des échanges à double sens avec des configurations d'événements environnementaux, et également susceptibles de produire un comportement dont les ressorts sont parfois à chercher dans la dynamique collective émergente elle-même (i.e., phénomène de causalité descendante). Tous ces éléments ne permettent pas de considérer les collectifs comme un ensemble de pièces dont il faut assembler les propriétés (i.e., tel que conduit dans une approche agrégative).

En somme, la perspective des systèmes complexes a deux caractéristiques qui la positionnent comme un candidat intéressant pour l'étude de la cognition collective. La première, c'est que cette approche permet d'appréhender les phénomènes d'intelligence collective dans leur essence, à savoir le caractère nouveau, irréductible, et émergent des propriétés collectives obtenues par l'interaction entre les membres. Nous reviendrons sur ces éléments en appelant à des approches multi-niveaux et temporelles (i.e., Aphorismes 4 et 5). La seconde renvoie à la nécessité de se doter d'une approche non-agrégative des perspectives individuelles. C'est la recherche de cette perspective non-agrégative qui conduit à considérer la notion d'interaction comme devant constituer l'unité d'analyse (i.e., Aphorisme 3). Pour l'heure, et parce que l'étude des collectifs comme systèmes complexes appelle l'analyse du comportement collectif en train de se faire et de se déterminer dans la dynamique même de l'activité, il nous faut détailler ce qu'est une conception de la cognition collective comme *activité* (i.e., Aphorisme 2).

LA COGNITION COLLECTIVE EST UNE ACTIVITÉ INDEXÉE À UN CONTEXTE

« Lorsque nous disons : il n'y a que des hommes et des relations réelles entre les hommes [...], nous voulons seulement dire que le support des objets collectifs doit être cherché dans l'activité concrète des individus ; nous n'entendons pas nier la réalité de ces objets mais nous prétendons qu'elle est parasitaire » (Sartre, 1960, p.55, cité par Theureau, 2006)

L'aphorisme *la cognition est une activité indexée à un contexte* contient deux affirmations reliées qui méritent d'être considérées dans cet ordre. Premièrement, mettre la focale sur la notion d'activité, c'est-à-dire les opérations concrètes réalisées par les membres dans leur fonctionnement collectif, a pour effet de renoncer à l'étude des *construits hypothétiques*, conçue comme l'étude de concepts très clairement définis théoriquement et s'insérant dans un modèle abstrait de l'activité humaine et conduisant *in fine* les études empiriques à peaufiner les détails de fonctionnement du concept.

Plusieurs auteurs ont essayé de se détacher de l'étude des construits sociocognitifs issus de la tradition computationnaliste d'appréhension du fonctionnement des équipes, notamment le

concept de *shared mental models* (i.e., modèles mentaux partagés) (Cooke et al., 2013a), ou encore des construits issus de la dynamique des groupes tels que le concept de cohésion (Humphrey & Aime, 2014). Pour opérer cette bascule, les auteurs argumentent en direction de l'*activité* comme étant le cœur de ce qu'est un système cognitif (Cooke et al., 2013a), et incidemment en direction de l'*activité collective* comme voie d'étude privilégiée de la cognition collective (Arrow et al., 2000). Cette perspective n'est pas anodine, elle vient balayer toute une tradition de recherche fédérée autour du modèle Input-Process-Output (IPO) (e.g., Ilgen, Hollenbeck, Johnson, & Jundt, 2005), dans laquelle les connaissances des membres ont été appréhendées comme des *inputs*, soumis à des processus (de type communications, interactions situées) qui produisent à l'arrivée une performance collective. Le construit des modèles mentaux partagés –théorisé comme stable, inscrit en mémoire à long-terme et permettant à l'individu de prévoir/agir dans le monde– a été appréhendé comme le facteur le plus directement impliqués dans la variance des *outputs* collectifs (DeChurch & Mesmer-Magnus, 2010). Cooke et ses collaborateurs (2013a) dénoncent dans cette démarche tout d'abord le caractère purement hypothétique de la notion, dans la mesure où l'étude de ses effets est totalement décontextualisée (i.e., les modèles mentaux partagés sont évalués en dehors de l'activité collective elle-même). Ensuite, ils dénoncent un focus mis sur les structures mentales des individus, plutôt que sur les processus situés permettant le fonctionnement collectif des membres. Loin de considérer dans leur critique que l'enjeu réside dans le simple déplacement du curseur des *inputs* vers les *processes*, les auteurs contestent plutôt l'essence même du modèle séquentiel du fonctionnement collectif humain. Ce modèle (i.e., IPO) produit généralement des photos statiques et décontextualisées de la cognition des membres, en perdant au passage l'inscription adaptative de la cognition dans son contexte dynamique.

La cognition collective se doit de refléter le flux dynamique des activités interactives qui se produisent en temps réel entre les membres : « *La cognition n'est pas une chose, ni un endroit dans le corps ou dans l'environnement, mais une interaction entre les deux : la cognition est une activité* » (Cooke et al., 2013a, p.266). Par son activité collective, l'équipe peut exhiber des propriétés cognitives nouvelles qui ne transparaissent pas dans les activités individuelles qui la permettent. L'équipe exhibe ainsi sa cognition au travers de son activité adaptative, notamment via l'adaptation de ses patterns d'activité, qui devraient être considérés comme centraux dans les études. Cette conceptualisation de la cognition comme activité est présentée par Cooke et collaborateurs (2013a) comme particulièrement représentative des sciences cognitives incarnées, pour lesquelles l'action et la perception ne peuvent être comprises qu'en termes d'action dans l'environnement (e.g., Chemero, 2009).

Ensuite, inextricablement lié à ce premier postulat, la cognition collective est conçue comme indexée à un contexte spécifique, celui auquel est dynamiquement couplée l'activité collective

(Arrow et al., 2000). Dit autrement, la variance de l'activité collective ne peut pas être comprise isolément du contexte dont se nourrit son occurrence (Cooke et al., 2013a). Ce contexte prend donc une fonction définitionnelle, donnant au flux de la cognition collective un cadre signifiant et historique. Cooke et ses collaborateurs renvoient les lecteurs aux travaux de Lave, Engeström, Vygostsky, Wenger, ou Hutchins pour étayer la dimension culturellement située de l'activité. De la sorte, la cognition collective n'est pas analysable à la seule lueur des états mentaux des agents cognitifs, mais elle doit être interprétée à la lueur de l'histoire passée et future de la niche sociale dans laquelle l'agent opère (Cooke et al., 2013a). Dans cette lignée, Humphrey & Aime (2014) définissent une équipe comme étant un théâtre d'activités interactives dynamiques. Ces activités étant fondamentalement interactives pour constituer la cognition collective, il est temps de mettre la focale sur la notion d'*interaction*.

LES INTERACTIONS ENTRE LES MEMBRES SONT LA COGNITION COLLECTIVE

« Interaction, a hallmark of team behavior, introduces variance that is unique to team activity. Interaction and related team behaviors such as coordination, communication, and team situation assessment inherently involve more than one individual and cannot be studied or measured meaningfully at the level of individual team member knowledge. » (Cooke et al., 2013a, p.269)

Si pour comprendre un système complexe il est nécessaire de considérer le système comme une totalité, plutôt que d'en conduire l'étude décomposée des constituants, il ne s'agit pas pour autant de considérer les équipes comme des unités indécomposables, sortes de superorganismes (e.g., Duarte, Araujo, Correia, & Davids, 2012). Le regard doit s'élever, certes, mais essentiellement pour passer d'une analyse des activités individuelles à celle de l'interaction.

Sur ce point, l'étude classique de la cognition collective à partir de ses *inputs* a produit notamment une centration forte sur les variables individuelles (soit-elles partagées) et a ainsi occulté/empêché de mettre au centre ce qui fait l'essence d'une activité collective coordonnée, à savoir les interactions situées se produisant entre les membres. Si, comme précisé ci-dessus, la cognition collective doit être décrite comme une activité, et que l'interaction située est elle-même une activité, alors l'interaction devient l'unité fondamentale d'analyse : *« la cognition collective est l'interaction, et non pas une variable intermédiaire entre les variables individuelles et les outputs collectifs »* (Cooke et al., 2013a, p.256). A ce titre, Cooke et ses collaborateurs préconisent de se focaliser sur les processus cognitifs en train de se faire dans l'interaction, et prédisent que les interactions en situation (par exemple les communications *in situ*) rendront mieux compte de la variance de la performance collective (i.e., en comparaison des prédictions obtenues à partir de l'étude des modèles mentaux partagés). A titre illustratif, dans une étude empirique, ces mêmes

auteurs (Cooke, Gorman, Duran, Myers, & Andrews, 2013b) montrent que les déficits d'interaction en situation sont de meilleurs prédicteurs des déclin de performance collective que ne le sont les déficits de connaissance ou de compétence individuelles. Ainsi, ils en concluent que c'est la façon dont les activités s'intègrent entre elles en temps réel qui fait le potentiel d'intelligence collective d'une équipe. De la même manière dans l'approche *Team Micro-dynamics* (Humphrey & Aime, 2014), il est indispensable de cibler sur l'étude des « relations » dans les collectifs, considérées comme les connexions interpersonnelles de l'équipe et qui peuvent être de toute nature (i.e., plus ou moins émergentes ou prescrites, longues ou courtes). Les auteurs de s'accorder ensuite sur le fait que ce type d'approche demande des recueils de données généralement plus conséquents, car chaque relation dyadique devient digne d'être renseignée. C'est notamment grâce à cette caractérisation des multiples interactions à l'œuvre dans le collectif que vont pouvoir être conduites des analyses des différents niveaux d'organisation du fonctionnement collectif.

LA COGNITION COLLECTIVE EST UN PHÉNOMÈNE MULTI-NIVEAUX

« The development of a multilevel paradigm—an integration of theoretical principles, research design and measurement, and analytics—for investigating systems phenomena in organizations is an important quantitative research advance. Early multilevel pioneers recognized the shortcomings of an organizational science based on systems conceptualizations that failed to directly study the linkages connecting distinct levels of analysis—micro, meso, and macro. » (Kozlowski et al., 2013, p.582)

Dans la mesure où un système complexe se caractérise par l'émergence de formes stables d'interaction entre ses composants à différents niveaux d'organisation, et pour éviter dans le même temps une appréhension du système à un niveau exclusivement global (e.g., les équipes comme des superorganismes), le développement d'approches dites *multi-niveaux* fait partie des nécessités théoriques et méthodologiques d'une telle approche (Kozlowski et al., 2013).

Les approches modernes de la cognition collective ont argumenté en direction de la conduite d'approches multi-niveaux. La logique de ce type d'approche vise le dépassement du réductionnisme qui voulait trouver les propriétés collectives dans l'analyse fine et détaillée des composants du système, notamment le découpage réductionniste des disciplines scientifiques qui vise la compréhension exclusive d'un des niveaux d'organisation des systèmes (Arrow et al., 2000). Dans le même temps, ce dépassement du néo-positivisme se garde de tomber dans un collectivisme méthodologique radical prônant l'investigation du seul niveau collectif d'analyse : « *Il ne faut pas jeter le bébé avec l'eau du bain. Il faut chercher dans les individus et leurs micro-interactions dynamiques ce qui façonne les phénomènes collectifs de haut-niveau* » (Kozlowski et al., 2013). Sur ce point, ce sont les productions de Arrow (Arrow et al., 2000) et de Kozlowski (Kozlowski et al., 2013)

qui en parlent le mieux pour l'étude des collectifs agissants. Deux processus fondamentaux sont pointés comme traitant spécifiquement des phénomènes qui se jouent entre les niveaux. Ces processus, nous les avons déjà convoqués pour décrire l'autonomie des couplages sociaux. Ils constituent ici ce qui fait le cœur (et la visée descriptive) d'une approche multi-niveaux (Cooke et al., 2013a ; Kozlowski et al., 2013). Premièrement, les effets *top-down* renvoient aux phénomènes descendants, ou de causalité descendante (*downward causality*), par lesquels la dynamique des patterns de haut-niveau vient contraindre/façonner la dynamique des événements de bas niveau. Deuxièmement, les phénomènes *bottom-up* renvoient aux phénomènes ascendants, ou d'émergence (*upward causality*), par lesquels les interactions dynamiques de bas niveau entre composants façonnent les phénomènes observables à des niveaux supérieurs. Kozlowski et collaborateurs (2013) pointent que si ces concepts ont toujours été attrayants, ces processus sont généralement mis au rang des hypothèses théoriques, et rarement examinés directement. De la sorte, une approche moderne de la cognition collective qui considère l'équipe comme un système complexe (Arrow et al., 2000) se doit de viser la description des interférences qui se produisent dynamiquement entre les niveaux d'organisation de l'activité collective (i.e., *nesting* des différents niveaux d'organisation ou *cross-level interaction*, Cooke et al., 2013a). Les auteurs estiment que l'étude empirique de ces phénomènes inter-niveaux, en même temps qu'ils constituent la clé d'une approche des équipes comme systèmes complexes, est totalement manquante et prometteuse (Humphrey & Aime, 2014 ; Kozlowski et al., 2013).

En pratique, ce travail n'est pas simple. Certains auteurs (Arrow et al., 2000 ; Kozlowski et al., 2013) pointent la nécessité de s'ouvrir à des modélisations mathématiques plus complexes et qui sortent du cadre des approches transversales classiques (nous y revenons dans la section suivante). D'autres (e.g., Humphrey & Aime, 2014) nous alertent sur la difficulté empirique même de ce *cross-modeling*, dans la mesure où il est nécessaire de recueillir des données sur les relations à un niveau faible de description, et ensuite de regarder comment ces données permettent de comprendre le comportement collectif à un niveau supérieur. Méthodologiquement, les auteurs citent des perspectives prometteuses en direction des modèles d'équations structurelles multi-niveaux qui permettent de tester comment des construits de haut-niveau affectent des construits de bas niveau (ou inversement), des modèles mixtes, ou des modèles issus de l'analyse des réseaux sociaux qui permettent l'analyse multi-niveaux des patterns d'interaction (Ilgen et al., 2005). Ces éléments ne sont pas sans poser en retour de nouveaux problèmes épistémologiques : s'il faut prendre en considération plusieurs niveaux d'analyse (e.g., l'individu, la dyade, la triade, l'équipe) et décrire les mécanismes par lesquels les effets se propagent vers le haut ou vers le bas dans le système, alors une approche multi-niveaux ne peut analyser l'effet d'une variable sur une autre à partir de mesures de variance basées sur des comparaisons inter-groupes, mais implique une approche intra-groupe et

temporelle: « *Nous nous devons de décrire les phénomènes de contagion* » (Humphrey & Aime, 2014). Épistémologiquement, il faut détailler un peu plus en avant désormais les conditions d'une épistémologie dite *temporelle*.

LA COGNITION COLLECTIVE EST UN PHÉNOMÈNE *DYNAMIQUE* (I.E., TEMPOREL)

Another issue is that many articles, acknowledging the importance of time and the dynamic nature of team processes, conceptualise and operationalize behavioural phenomena in terms of stable individual differences. Time is thus noticeable but stripped from its essence, i.e. the capacity to flow. [...] A (...) practice has developed with regard to the notions of team processes and emergent states. (...) While these are dynamic in nature, that is, unfolding over time, they are typically treated as quasitraits that are considered as being stable within the team and varying between teams. This inconsistency between the dynamic nature of the core concept and the non-dynamic form chosen for its operationalisation, which allows for subsequent differential analyses, has not remained unnoticed. » (Roe et al., 2012, P.635)

Le paradigme (néo-)positiviste, qui préfère la manipulation et le contrôle des variables conduisant à des inférences causales très fortes et unidirectionnelles a eu pour autre effet de produire des protocoles de recherche relativement statiques (Arrow et al., 2000) qui ont privilégié le nombre de cas étudiés pour satisfaire aux conditions de variance inter-groupes et à l'annulation des variables non contrôlées, chères aux approches différentielles. À l'inverse, considérer le collectif agissant comme un système complexe dynamique et adaptatif demande de se doter d'une approche temporelle premièrement centrée sur la variabilité du phénomène lui-même. C'est pour cette raison qu'un petit pas de côté épistémologique est nécessaire pour bien clarifier les fondements d'une épistémologie temporelle.

L'approche *Intrateam Longitudinal Approach to the Study of Team Process Dynamics* de Li et Roe (2012 ; Roe et al., 2012) et celle de Arrow (Arrow et al., 2000) sont assez explicites sur ces éléments, et nous leur reprenons l'essentiel des arguments. Tout d'abord, force est de constater que de nombreuses études visent la description des *processus* du fonctionnement collectif, c'est-à-dire des mécanismes permettant de comprendre les adaptations collectives (i.e., au cours du temps). Pour autant, il y a souvent un écart entre ces phénomènes visés et les méthodes retenues pour leur investigation qui s'affranchissent de la temporalité. Or, le temps et le changement sont inhérents à la notion de processus (Roe et al., 2012). Roe estime que c'est l'avènement des statistiques associationnelles (corrélations, régressions) (i.e., dans les 1970) qui a vidé l'étude des processus adaptatifs de leur dimension temporelle (Roe et al., 2012). Ce type d'étude investigate les processus comme des quasi *traits*, qui peuvent notamment être mesurés à partir de questionnaires multi-items. Le modèle IPO en est l'illustration, dans lequel sont étudiées les relations entre des variables

d'entrées, des processus et des variables de sortie. Ainsi, en mettant les processus au rang de variable, on les fixe et s'affranchit de leur dynamique évolutive et adaptative. Les méthodes statistiques usuelles sont pensées pour des approches dites nomothétiques, orientées-variance, ou encore approches différentielles. Elles considèrent les phénomènes comme étant stables au sein de chaque équipe, mais variant entre les équipes (i.e., analyses différentielles). Ensuite, l'approche classique focalise sur la variance d'une variable, et le pourcentage de variance expliqué par les autres variables. Quand un degré suffisant de variance est expliqué, alors le chercheur considère que des variables peuvent prédire d'autres variables, et il estime décrire des processus parce que la connaissance d'une variable lui permet de prédire raisonnablement le score de l'équipe sur une autre variable. A partir de cette démarche, les études transversales produisent souvent un modèle fait de cases reliées entre elles par des flèches, les cases de gauche influençant les cases de droite. Ces modèles laissent penser que les co-variations de variables observées *entre* les équipes valent aussi *au sein* des équipes, ce qui n'est pas le cas puisque les analyses n'ont pas été construites en considérant la variabilité intra-équipe au cours du temps : « *le fait qu'une variable prédise et explique les différences entre les sujets ne veut pas dire que la variable prédise les variations au cours du temps* » (Roe et al., 2012). Pour Li et Roe (2012) l'inconsistance est là, entre la nature temporelle du phénomène et la forme non-dynamique retenue pour son opérationnalisation qui vide la notion de temps de son sens. Processus et variables sont ontologiquement différents, et leur étude demande des épistémologies contrastées.

Ainsi, s'il n'est pas possible de comprendre comment une équipe change en comparant les équipes entre elles, les processus devront être étudiés en eux-mêmes en respectant le déroulement temporel de l'activité. Pour cela, l'approche temporelle se focalise sur la manière dont les phénomènes apparaissent et changent au cours du temps, analysant leurs caractéristiques temporelles (e.g., durées, patterns, trajectoires), les facteurs d'influence de ces trajectoires, ou encore les interrelations dynamiques entre les phénomènes au cours de l'empan temporel ciblé. Il s'agit ainsi d'un focus sur le « ce qui se passe » (Roe, 2008), particulièrement compatible avec les approches orientées-activités. Les études peuvent être conduites chez un sujet (un membre, ou une équipe) ou plusieurs sujets, même s'il n'est pas nécessaire ici de multiplier les sujets pour pouvoir conduire les analyses de trajectoire. En effet, dans une approche temporelle, les trajectoires sont analysées pour chaque équipe séparément : « *la description de la logique de trajectoire d'une équipe n'a rien à puiser dans la trajectoire des autres équipes. Ce qu'on dit du développement des divergences dans une équipe ne devrait pas être déduit de la manière dont se développent les divergences dans une autre équipe* » (Roe et al., 2012, p.640). En conséquence, pour passer à une approche véritablement temporelle, il est utile de se doter de concepts dynamiques, de mesures dynamiques (e.g., séries temporelle), et d'analyses dynamiques.

Pour capturer la dynamique des mécanismes processuels à l'œuvre dans le système social, et pouvoir appréhender le phénomène dans sa dynamique adaptative, il devient pertinent de collecter des données à une fréquence d'échantillonnage relativement élevée (i.e., deux, trois ou quatre relevés échelonnés dans le temps sont insuffisants), cette fréquence devant être pertinemment calibrée au regard du rythme auquel le phénomène d'émergence évolue (Kozlowski et al., 2013). Il faut noter que ce type de recueil de données n'est pas la coutume des protocoles dominants qui sont principalement expérimentaux et corrélacionnels et qu'une réflexion concomitante sur les conditions méthodologiques de possibilité d'actualisation de cette épistémologie temporelle est utile. A ce titre, et parmi d'autres propositions méthodologiques, on retrouve souvent des préconisations faites en direction des outils de la théorie des systèmes dynamiques, capable de capturer l'évolution des patterns d'interaction qui se propagent au cours de l'activité collective (e.g., Marsh, Richardson, & Schmidt, 2009; Gorman, Hessler, Amazeen, Cooke, & Shope, 2012).

L'ARTICULATION DES CONSTRUCTIONS DE SIGNIFICATIONS FAÇONNE LA COGNITION COLLECTIVE.

« (...) Intersubjectivity (...) is more than the sum of its parts, the two individual subjectivities. Meanings are created through the interaction between the participants; there are group processes like repair of understandings; and the experience of the world is partially shared, not completely subjective. » (Stahl, in press, p.5)

Dans la mesure où un système complexe exhibe des propriétés d'auto-organisation qui peuvent être capturées par l'analyse de séries temporelles relevant de niveaux d'organisation différents, rien dans ces présupposés n'a orienté les auteurs se référant à cette conceptualisation de la cognition collective à défendre la nécessité d'une approche phénoménologique de l'activité collective. Dans le cadre du courant de la cognition collective, les rares cadres théoriques qui flirtent avec l'étude des significations construites en situation font alternativement référence aux concepts de *collective sense-making* (Weick, 1995), *collective mindfulness* (Weick, Sutcliffe, & Obstfeld, 2008), *team situation awareness* (Salas, Prince, Baker, & Shrestha, 1995), ou plus généralement *shared awareness* (Fiore & Salas, 2004). Ces concepts sont des déclinaisons de la notion de schéma mental (i.e., partagé entre les membres) en direction de leur mobilisation/adaptation en situation collective de fonctionnement. Ils sont ancrés dans la tradition computationnaliste de l'analyse de la cognition humaine (e.g., Salas et al., 1995), même si des efforts sont faits pour appréhender le niveau de la compréhension collective de la situation comme un phénomène cognitif émergent n'appartenant à aucun des membres (i.e., *emergent state*). Au mieux, ils se réfèrent aux présupposés de l'approche *Naturalistic Decision Making* (Klein, 2008) qui inclut quelques réserves vis-à-vis de la tradition cognitiviste, et intègre une théorie de la rationalité limitée permettant de déplacer la focale des

schémas vers les activités collectives situées permettant leur actualisation (e.g., Weick, 1995, 1999). La notion de *sense-making* qu'on retrouve citée dans plusieurs de ces approches est synonyme d'activité située d'attribution de sens (e.g., Ashmos & Nathan, 2002 ; Klein, Wiggins, & Dominguez, 2010 ; Weick, 1995), autrement dit l'activité d'organisation et de filtrage en direct de l'information. Cette activité d'attribution de significations est conçue comme le corrélât situationnel des schémas mentaux possédés en mémoire à long terme, et donc sans considérer la construction de significations comme le point de départ d'un couplage acteur/situation.

Les approches qui ont franchi le cap du rejet du paradigme computationnaliste, et qui ont avancé dans la direction d'une approche plus authentiquement phénoménologique dans l'appréhension de l'articulation de la construction de significations, ont été essentiellement conduites dans les domaines du CSCW (*Computer Supported Cooperative Work*) ou du CSCL (*Computer Supported Cooperative Learning*). Sans les détailler ici, l'approche de Schmidt (2011) relative à la notion d'*awareness*, et subséquentement de *mutual awareness*, conçoit avec plus d'intérêt les significations que chaque acteur construit sur le monde, et la manière dont des membres engagés dans une activité coopérative s'organisent pour développer des activités qui leur permettent de faire converger leurs significations (e.g., mettre en visibilité son activité, surveiller l'activité d'autrui). Si cette approche décrit les pratiques situées par lesquelles les activités individuelles interfèrent et s'agencent, elle en reste pour l'essentiel à un niveau local de description, centré sur un ou peu d'individus, et ne franchit pas le pas d'appréhender le niveau collectif d'organisation permis par ces activités locales.

Une autre approche, plus en phase avec nos besoins est celle de Stahl dans le domaine de l'apprentissage coopératif médié par les artefacts informatiques (Stahl, 2015, sous presse ; Stahl, Koschmann, & Suthers, 2006). Stahl renonce à l'approche des représentations mentales, et lui préfère celle d'un processus de construction de significations dans l'interaction (i.e., *interactional meaning making*, Stahl et al., 2006). Il puise ses références alternativement dans les travaux empiriques et philosophiques de Lave et Wenger, Winograd et Flores, Vygostky, Heidegger, Husserl, et Wittgenstein, ou encore Merleau-Ponty pour poser la notion de la signification comme le terme premier dans l'appréhension de la cognition collective, et revendiquer l'ancrage dans un paradigme du sens (*meaningful paradigm*, Stahl, sous presse) pour faire écho à la notion de *monde vécu* de la phénoménologie. A partir d'Heidegger, il formule l'aphorisme suivant : *L'unité principale d'analyse de la cognition est l'engagement des gens dans leur monde* (Stahl, 2015, p.102). De là, il considère que la compréhension partagée en situation est co-construite par un processus progressif de convergence des activités signifiantes individuelles, ce processus constituant ce qu'est la cognition collective plutôt qu'un état mental, soit-il émergent (Stahl, 2015). Les références faites à la phénoménologie conduisent Stahl à assimiler la compréhension partagée à un phénomène intersubjectif, autrement

dit à une articulation des activités individuelles dans un monde partagé signifiant. Ce monde partagé est constamment retravaillé par les interactions avec autrui, de sorte à réparer les incompréhensions, affiner une compréhension partagée partielle, ou mener à une compréhension pleinement partagée (Stahl et al., 2006). Ensuite, le renoncement à toute forme d'individualisme méthodologique conduit Stahl à viser l'analyse des phénomènes collectifs en se dotant de niveaux d'analyse supérieurs. Pour autant, malgré les références appuyées aux travaux d'Hutchins, l'auteur veille à ne pas tomber dans une forme de collectivisme méthodologique, et en conclut que doit être centrale l'étude de plusieurs niveaux d'organisation pour appréhender pleinement lesdits phénomènes visés. De la sorte, sans faire de référence aux théories des systèmes complexes, l'approche de Stahl contient une bonne partie des conséquences épistémologiques d'une telle théorie. Si l'auteur en question argumente fortement en direction des études de cas pour dépasser les limites des comparaisons quantitatives (i.e., notamment en direction des études ethnométhodologiques), il ne passe pas pour autant le pas d'une épistémologie radicalement temporelle. Également, son approche reste très centrée sur l'analyse de traces informatiques de l'activité collective, ce qui la rend perfectible en direction de l'étude des interactions en face à face.

Si les cadres théoriques défendant la nécessité d'une analyse phénoménologique pour appréhender les équipes comme des systèmes complexes adaptatifs et dynamiques ne sont pas légion, cela ne signifie pas qu'aucun travail de recherche empirique ne parte du postulat phénoménologique pour comprendre le fonctionnement collectif : par exemple, dans une étude récente relative aux processus de production d'une performance collective musicale (i.e., un quartet), Schiavio et Hoffding (sous presse) ont exploré l'intentionnalité pré-réflexive et incarnée des musiciens pour comprendre leurs interactions situées et adaptatives. Ils décrivent les ressorts de leurs adaptations collectives, et notamment la manière dont leurs patterns signifiants d'activité sont intimement couplés avec l'environnement sonore qu'ils contribuent à produire. Dans le domaine du sport, Lund et ses collaborateurs (Lund, Ravn, & Christensen, 2012) étudient une situation de coordination en aviron (i.e., deux de couple). Ils ciblent leur analyse phénoménologique sur l'expérience vécue par des rameurs apprenant à synchroniser leurs activités respectives. Ils ont montré que l'apprentissage de l'activité collective était un processus d'incorporation mutuelle d'habiletés co-dépendantes, organisées autour de l'expérience partagée de ce qu'est le « bon rythme » pour ramer ensemble. Sans être exhaustif sur ces travaux, c'est le constat de la pauvreté des théorisations de la cognition collective par les apports phénoménologiques qui est à retenir, et qui dans le même temps signe l'originalité de notre proposition.

L'aphorisme *l'articulation des constructions de significations façonne la cognition collective* permet de passer d'une approche des systèmes complexes à une approche éactive des couplages sociaux. Cette proposition vise à intégrer des descriptions expérientielles des activités individuelles,

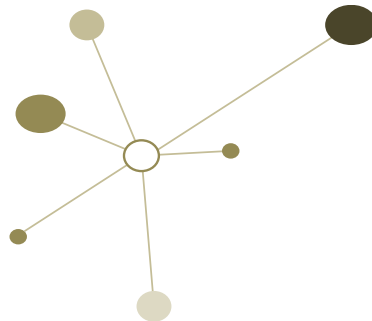
ainsi que la description de la manière dont les membres coordonnent leurs perspectives propres pour éventuellement faire aboutir un processus conjoint de co-construction de significations partagées. De la sorte, la phénoménologie de l'unité sociale est susceptible d'être décrite à un niveau relationnel d'analyse, sans se réduire aux perspectives individuelles.

DEFINITION DE LA COGNITION COLLECTIVE

En somme, et pour se risquer à donner une définition de ce qu'est la cognition collective à partir des aphorismes détaillés ci-dessus. L'approche énaïve des couplages sociaux nous conduit à concevoir la cognition collective comme étant la *phénoménologie de la dynamique d'interaction humaine qui donne lieu à l'émergence de différents niveaux d'organisation dans l'unité sociale*. Sans avoir de vocation prescriptive, cette définition permet essentiellement de capturer dans une formule les propriétés-clés de la cognition collective dans une approche énaïve des couplages sociaux.

PARTIE 3

TRAVAUX DE RECHERCHE : ACQUIS EMPIRIQUES ET METHODOLOGIQUES



PARTIE 1 : PARCOURS ET QUESTIONNEMENT

PARTIE 2 : ELEMENTS D'EPISTEMOLOGIE GENERALE

PARTIE 3 : TRAVAUX DE RECHERCHE : ACQUIS EMPIRIQUES ET METHODOLOGIQUES

PARTIE 4 : DIRECTIONS DE RECHERCHE ET CONDITIONS EPISTEMOLOGIQUES DE LEUR MISE EN ŒUVRE

PARTIE 5 : PROJETS DE RECHERCHE AMORCE

Nos travaux de recherche conduits depuis 2007 empruntent à différentes méthodes, à la fois qualitatives et quantitatives, comportementales et expérientielles, descriptives et explicatives. Ils ont été, comme explicité ci-après, surtout exploratoires. Ils ont permis de développer/tester des méthodes d'investigation et/ou de générer des hypothèses ouvertes relatives à l'agencement des activités individuelles en situation naturelle de coordination spatiotemporelle. Nos travaux contribuent ensemble à une approche énaactive des couplages sociaux telle qu'introduite par De Jaegher et Di Paolo (2007), c'est-à-dire focalisant sur la description de la dynamique propre de coordination interpersonnelle, sa phénoménologie en termes de significations partagées, et son autonomie relative (i.e., auto-entretenu). Ils opérationnalisent dans le même temps une conceptualisation de la cognition collective comme *phénoménologie de la dynamique d'interaction humaine, donnant lieu à émergence de différents niveaux d'organisation dans l'unité sociale*, telle que nous l'avons argumentée dans la partie précédente (i.e., Partie 2). Cet exercice de synthèse laissera apparaître que nous avons premièrement investigué de façon séparée les dynamiques comportementales et les dimensions expérientielles. C'est essentiellement dans la partie suivante (i.e., Partie 4) que nous détaillons les conditions d'une ambition plus intégrative de ces lignes de recherche à travers la conduite des projets que nous menons actuellement. Bien que le rationnel propre aux études introduites ici soit souvent teinté de préoccupations très conjoncturelles, nous nous efforçons de revenir autant que possible à leur logique intégrative.

Pour comprendre cette logique intégrative, nous redélimitons les trois principes-clés d'une approche énaactive des couplages sociaux (Di Paolo et al., 2010). Premièrement, une approche énaactive de la cognition sociale (i.e., entendue au sens large) considère comme point de départ la *coordination*, c'est-à-dire la **manière dont les corrélations non-accidentelles observables entre deux (ou plusieurs) systèmes agissants se créent, sont perturbées, et se stabilisent autour de formes auto-entretenues récurrentes de coordination** (De Jaegher & Di Paolo, 2007). Cette focalisation permet de maintenir l'idée d'un couplage structurel comme fondant une cognition humaine située et se constituant comme telle ici et maintenant dans l'activité collective.

Toutefois, ces corrélations comportementales interindividuelles, si elles doivent être le point de départ de toute conceptualisation, ne peuvent constituer à elles seules une approche pleinement énaactive. Ainsi il faut deuxièmement, pour franchir un pas supplémentaire, considérer la manière dont ces corrélations comportementales sont régulées par les individus. Dans ce sens, la notion d'*interaction sociale* dépasse celle de coordination en intégrant comme nécessité la co-régulation, par les protagonistes, de leur coordination (Di Paolo, 2005). Cette co-régulation ne va pas de soi (i.e., n'est pas acquise et se concrétise dans des formes plus ou moins fortes de participation à

l'interaction sociale), et constitue à ce titre un des enjeux d'une description empirique des phénomènes de coordination interpersonnelle en situation naturelle complexe. Puisque cette activité de régulation est possible/médiée par une activité adaptative signifiante (Di Paolo, 2005), rendre compte empiriquement des processus d'interaction à l'œuvre dans l'activité-cible revient à décrire la *compréhension sociale dans la coopération* (Fantasia, De Jaegher & Fasulo, 2014), et **consiste en une analyse de la manière dont les constructions individuelles de significations s'articulent dans et par la coordination comportementale** (Laroche, 2015a).

Finalement, si ces activités signifiantes de régulation sont susceptibles de façonner le caractère autonome de l'interaction sociale (i.e., au sens de constituant un domaine nouveau de phénomènes auto-entretenus), alors il est utile de **décrire comment les protagonistes participent à construire ensemble des phénomènes relationnels de haut-niveau qui leur échappent, et comment en retour cette dynamique de l'interaction vient contraindre la façon dont leur activité locale opère** (Laroche, 2015b).

A partir de ces trois éléments, nos travaux ont tenté de *i)* rendre compte des possibilités méthodologiques d'observer des corrélations non-accidentelles dans les trajectoires de déplacement spatiotemporel de joueurs de basketball. Nous avons pour cela exploré la fécondité des outils de la théorie des systèmes dynamiques. Bien que cette étape soit exclusivement comportementale, elle est indispensable à une approche des équipes comme systèmes complexes adaptatifs. Elle est également indispensable à l'identification de signatures comportementales qui suggèrent l'autonomie des couplages sociaux considérés, et reprend la logique explicative de l'approche énaïve des couplages sociaux telle qu'introduite par d'autres auteurs (De Jaegher & Di Paolo, 2007 ; Laroche et al., 2014). Ensuite, nos travaux ont tenté de *ii)* rendre compte du processus d'articulation des constructions de significations individuelles dans la dynamique de l'activité collective située de joueurs de basketball. Nous avons pour cela inscrit notre travail au sein du programme de recherche du Cours d'action. Cette étape est plus authentiquement basée sur la perspective intrinsèque des sujets, notamment leurs expériences vécues relatives à leur coordination. Finalement, nos travaux ont tenté de *iii)* rendre compte des possibilités méthodologiques d'appréhender les phénomènes d'auto-organisation à l'œuvre dans l'activité collective en train de se faire. Pour ce faire, nous avons exploré l'heuristique d'une approche multi-niveaux appliquée d'une part aux données de coordination comportementale, et d'autre part aux données d'articulation des constructions de signification individuelles.

Ensemble, ces trois axes d'étude contribuent à dessiner les contours de notre contribution à un programme énaïve de compréhension des couplages sociaux. Formulés sous forme d'enjeux, ils constituent la trame de la synthèse réalisée ci-après en puisant dans le contenu de sept études distinctes. La structure et l'ordre de présentation de ces travaux ne recoupe pas nécessairement leur

chronologie. Les discussions soulevées répondent prioritairement à une logique intégrative réalisée *a posteriori* des études pour la présente note de synthèse.

[Enjeu 1] Capturer la dynamique comportementale de coordination interpersonnelle en situation naturelle

Bourbousson, J., Sève, C., McGarry, T. (2010a). Space-time coordination patterns in basketball: Part 1. Intra- and inter-couplings among player dyads. *Journal of Sports Sciences*, 28(3), 339-347. doi: 10.1080/02640410903503632

Bourbousson, J., Sève, C., McGarry, T. (2010b). Space-time coordination patterns in basketball: Part 2. The interaction between the two teams. *Journal of Sports Sciences*, 28(3), 349-358. doi:10.1080/02640410903503640

[Enjeu 2] Décrire les couplages sociaux comme des interactions intelligibles en termes de construction conjointe de significations

Bourbousson, J., Poizat, G., Saury, J., Sève, C. (2010c). Team coordination in basketball: description of the cognitive connections between teammates. *Journal of Applied Sport Psychology*, 22, 150-166. doi:10.1080/10413201003664657

Bourbousson, J., Poizat, G., Saury, J., Sève, C. (2012). Temporal aspects of team cognition: a case study on concerns sharing within basketball. *Journal of Applied Sport Psychology*, 24, 224-241. doi:10.1080/10413200.2011.630059

Bourbousson, J., Poizat, G., Saury, J., Sève, C. (2011). Description of dynamic shared knowledge: an exploratory study during a competitive team sports interaction. *Ergonomics*, 54, 120-138. doi:10.1080/00140139.2010.544763

[Enjeu 3] Décrire les mécanismes multi-niveaux façonnant l'autonomie des couplages sociaux

Bourbousson, J., Deschamps, T., Travassos, B. (2014b). From players to teams: Towards a multi-level approach of game constraints in team sports. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 9, 1393-1406. doi:10.1260/1747-9541.9.6.1393

Bourbousson, J., R'Kiouak, M., Eccles, D.W. (2015). The dynamics of team coordination: A social network analysis as a window to shared awareness. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 24, 742-760. doi: 10.1080/1359432X.2014.1001977

PARTIE 3 - CHAPITRE 1

LA DYNAMIQUE COMPORTEMENTALE DE COORDINATION

INTERPERSONNELLE EN SITUATION NATURELLE



Afin de mettre le processus de coordination au centre de l'approche éactive des couplages sociaux, De Jaegher et Di Paolo (2007) argumentent la nécessité de décrire comment la coordination apparaît, se maintient, change et se rompt. Laroche et ses collaborateurs (2014) suivent la même logique, en posant d'abord la nécessité de décrire *les corrélations non-accidentelles qui se produisent entre les comportements de deux ou plusieurs systèmes* (De Jaegher & Di Paolo, 2007), avant, dans un deuxième temps, d'interroger les phénomènes de conscience qui accompagnent/s'immiscent dans cette dynamique de coordination interpersonnelle. Dans ce sens, la volonté de décrire la coordination interpersonnelle en elle-même à partir de variables relationnelles n'est pas sans implications méthodologiques, ce qui fait de la « mesure » de cette coordination une question déjà importante. Pour explorer ces possibilités, il a été suggéré que l'inspiration puisse être puisée dans les méthodes d'analyse du mouvement, notamment le pan de la littérature qui se réfère à la théorie des systèmes dynamiques (De Jaegher & Di Paolo, 2007). La théorie des systèmes dynamiques vise la description de la coordination entre deux systèmes couplés. Les outils de cette approche permettent de décrire la temporalité de la coordination interpersonnelle en train de se réaliser, et de rechercher sur cette base les structures de la coordination (i.e., ou *pattern*). Ces structures sont identifiées au niveau relationnel d'analyse de la dynamique de coordination interpersonnelle et conduisent *in fine* à mettre au centre la notion de coordination, mobiliser des outils mathématiques pour décrire la dynamique temporelle du processus interactif, identifier certaines signatures de la dynamique des couplages sociaux (e.g., transitions de phase, rôle fonctionnel de la variabilité), et contribuer à la modélisation synthétique des processus de ces coordinations.

Conduits dans une approche quantitative, les deux études suivantes ont exploré les possibilités de capturer les propriétés comportementales des couplages sociaux. Sans relever, en elles-mêmes, d'une approche pleinement éactive (puisque n'intégrant pas de présupposés phénoménologiques), ces études apportent tout de même des éléments en direction d'une description de l'autonomie des systèmes sociaux. Nous argumenterons plus tard les conditions épistémologiques d'intégration de ces résultats dans une approche plus rigoureusement éactive (i.e., chapitre relatif à nos directions de recherche actuelles, Partie 4), c'est-à-dire intégrant ensemble des données relatives aux coordinations interpersonnelles et relatives à la construction de significations partagées pour décrire comment ces deux ordres de phénomènes se contraignent mutuellement. Les deux études détaillées ci-après ont été construites de la manière suivante : la première a exploré le potentiel des analyses de *phase relative* pour décrire les couplages dyadiques se produisant dans le décours d'un match réel de sport collectif ; la seconde a exploré l'intérêt d'une

description du fonctionnement des équipes à partir de *variables collectives* capturant l'ensemble des comportements des membres sur la base d'indicateurs simples et macroscopiques.

CAPTURER LES COORDINATIONS EMERGEANT A UN NIVEAU LOCAL D'ANALYSE (I.E., DYADIQUE)

ENJEUX. Cette première étude était relative au traitement de données comportementales témoignant des coordinations interpersonnelles en basketball (Bourbousson et al., 2010a). Nous avons fait le choix de focaliser nos analyses sur des données de « trajectoire », permettant ainsi d'appréhender une composante importante des comportements collectifs en sport collectif. De manière générale, cette étude était exploratoire d'un point de vue empirique, ses enjeux étant essentiellement méthodologiques. Elle a été conduite en 2008, dans un contexte de recherche un peu particulier, dans la mesure où les travaux de l'époque ambitionnaient de considérer les équipes sportives comme des systèmes dynamiques, dont les coordinations entre les membres seraient susceptibles d'être décrites à l'aune des outils de la théorie des systèmes dynamiques (i.e., phase relative entre les comportements des partenaires) (e.g., McGarry et al., 2002). Pour autant, à cette date, les rares travaux visant ce type de description l'avaient fait uniquement dans des sports individuels d'opposition, décrivant la coordination entre un joueur et son adversaire (voir McGarry & Franks, 1994 en squash ; Palut & Zanone, 2005 en tennis ; Araujo, Davids, Sainhas, & Fernandes, 2002 en basketball). A ces travaux avait été adressée une critique radicale (Lebed, 2006, 2007) dénonçant l'impossibilité de traiter des coordinations intra-équipe et d'appréhender de la sorte les comportements d'équipes plus larges, notamment dans les coordinations coopératives. Sur cette base, une collaboration avec Tim McGarry ambitionnait d'explorer la capacité des mesures de *phase relative* à capturer la dynamique de construction/déconstruction des coordinations dyadiques imbriquées dans un match réel de sport collectif (i.e., appréhendant autant les coordinations attaquant/défenseur que les coordinations inter-membres).

METHODES. Un match professionnel de basketball a été choisi pour conduire l'analyse. Pour conduire une analyse non-intrusive, et dans un contexte où les systèmes de capture automatique des trajectoires en basketball n'existaient pas, nous avons utilisé une caméra standard, fixée au point le plus haut du gymnase, permettant d'enregistrer en plan fixe l'ensemble des déplacements des joueurs au cours du match (Figure 1). Ensuite, à partir de cet enregistrement, nous avons numérisé les trajectoires des joueurs grâce au système de *tracking* fourni par le logiciel Dartfish Team Pro4. Ces trajectoires ont été corrigées (i.e., filtrées puis redressées) avant d'être soumises à des analyses de phase relative.



Figure 1 : Plan obtenu pour la numérisation des trajectoires de déplacement des joueurs.

Afin de rendre compte de la dynamique des patrons spatiotemporels de coordination entre les joueurs de basketball, les phases relatives de l'ensemble des dyades possibles parmi les 10 joueurs ont été calculées (i.e., 45 dyades) à l'aide de la transformée de Hilbert (cf. Palut & Zanone, 2005). Une analyse synthétique quantitative de type « analyse fréquentielle » visait à repérer des structures de coordination récurrentes au sein des paires de joueurs (i.e., des attracteurs), et une analyse qualitative visait à discuter des signatures des systèmes dynamiques dans la dynamique de certaines coordinations dyadiques. L'ensemble des couplages ont été appréhendés respectivement sur le plan longitudinal (mouvements d'un panier à l'autre) et latéral (mouvements d'un côté du terrain à l'autre), mais en raison de leur diversité, les résultats ont été discutés essentiellement sur le plan latéral. Les deux équipes étaient respectivement désignées par A et B. Les joueurs étaient désignés en fonction de leur poste par des nombres allant de 1 à 5 (e.g., A1, meneur de jeu de l'équipe A ; A2, deuxième arrière ; A3, ailier ; A4, ailier fort ; A5, pivot de l'équipe A).

RESULTATS. Le premier élément de résultat était que le nombre important de joueurs en interaction produisait une structure d'interaction beaucoup plus complexe que celles observées jusqu'alors dans les sports de raquette (i.e., dyades). La Figure 2A représente l'analyse fréquentielle de la phase relative d'une dyade hypothétique, dans laquelle les joueurs n'entretiendraient pas de corrélations spatiotemporelles non-accidentelles (comportements générés de façon aléatoire). La Figure 2B présente les résultats obtenus sur le plan latéral avec certaines dyades du match. Pour ces dyades, il est notable que l'ensemble des couplages possibles entre les deux joueurs sont apparus avec des fréquences assez équivalentes, de façon semblable à ce que l'on obtiendrait entre deux éléments non couplés.

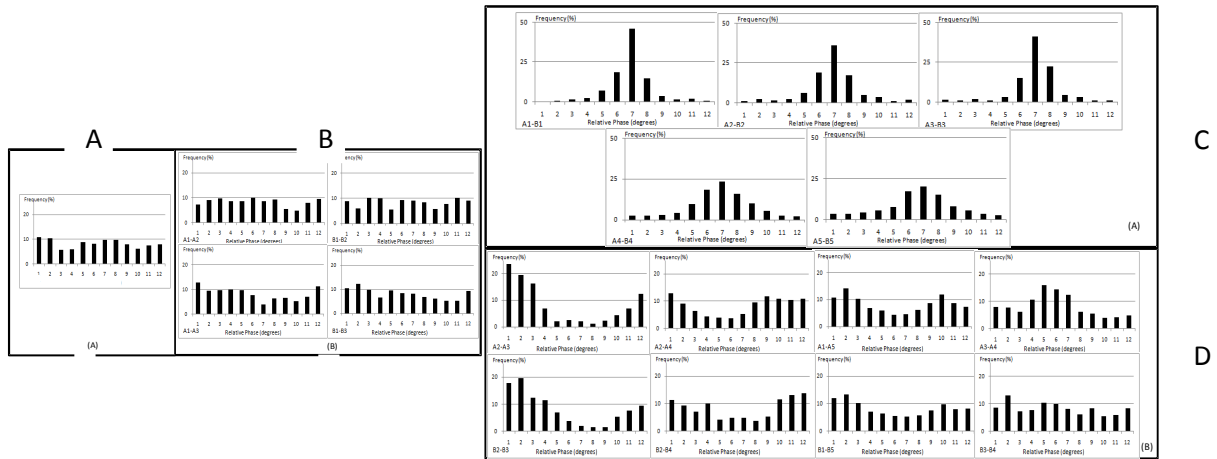


Figure 2 : **2A.** Distribution de fréquences générée à partir de données aléatoires. **2B.** Analyses fréquentielles des phases relatives observées pour les dyades A1-A2, B1-B2, A1-A3 et B1-B3 (à partir de Bourbousson et al., 2010a). **2C.** Analyses fréquentielles des phases relatives observées pour les dyades A1-B1, A2-B2, A3-B3, A4-B4 et A5-B5. **2D.** Analyses fréquentielles des phases relatives observées pour les dyades A2-A3, B2-B3, A2-A4, B2-B4, A1-A5, B1-B5, A3-A4 et B3-B4 (à partir de Bourbousson et al., 2010a).

En revanche, les résultats ont pointé que d'autres dyades de joueurs témoignaient de relations beaucoup plus structurées et remarquables : les dyades A1-B1, A2-B2, A3-B3, A4-B4, et A5-B5 ont entretenu des relations synchrones stables (Figure 2C), et les dyades A2-A3, B2-B3, A2-A4, B2-B4, A1-A5, B1-B5 ainsi que A3-A4 ont pour leur part entretenu des relations plus variées (Figure 2D).

Par ailleurs, sur la base de cette identification de couplages-typiques, l'analyse qualitative complémentaire de la dynamique de coordination de chaque dyade a permis de pointer certaines des signatures des systèmes dynamiques, telles que des phases de stabilité autour d'un attracteur (Figure 3A et 3B), l'alternance entre phase de stabilité, perturbation et restabilisation progressive (Figure 3A), ou encore les transitions de phase entre deux attracteurs pour les dyades ayant une distribution bimodale de leur structure de coordination (Figure 3C et 3D).

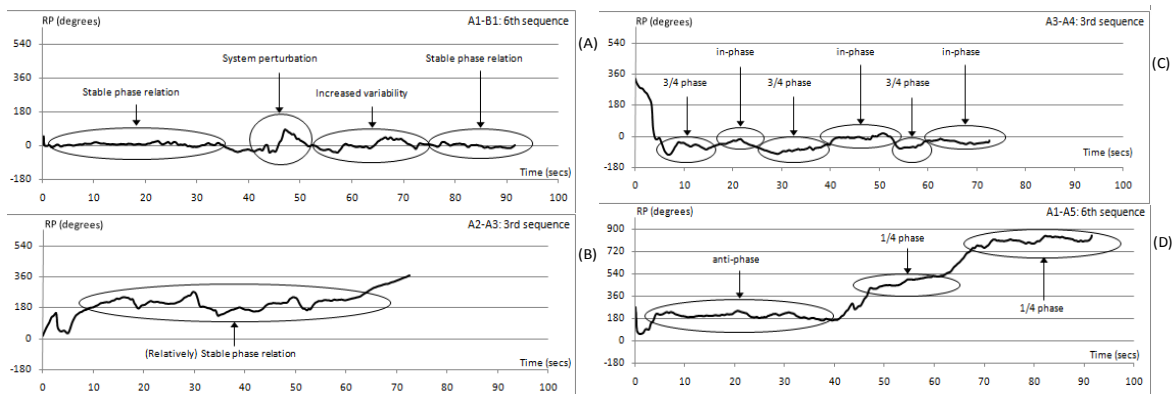


Figure 3 : **3A.** Phase relative observée entre A1 et B1 lors de la sixième séquence. **3B.** Phase relative observée entre A3 et A3 lors de la troisième séquence. **3C.** Phase relative observée entre A3 et A4 lors de la troisième séquence. **3D.** Phase relative observée entre A1 et A5 lors de la sixième séquence (à partir de Bourbousson et al., 2010a).

APPORTS EMPIRIQUES A LA COMPREHENSION DU FONCTIONNEMENT DES EQUIPES SPORTIVES. Sur le versant des apports à une description empirique des coordinations interpersonnelles observables en basketball, les résultats pointent la possibilité méthodologique de repérer des structures d'interaction spatiotemporelle entre certains joueurs au cours de leur activité collective située. Ici, au sein des coordinations observées, l'analyse souligne par exemple le comportement de cinq dyades fortement couplées. Ces dyades étaient les dyades attaquant-défenseur, et le couplage en phase qui les caractérisait signait la stratégie défensive adoptée (i.e., défense individuelle). Les joueurs 4 et 5 (i.e., A4 et A5), qui sont les joueurs intérieurs chargés d'assurer un nombre assez important d'aides défensives, entretenaient avec leur vis-à-vis des liens de coordinations plus fragiles, repérables par une variance plus importante des valeurs de phase relative autour de la tendance centrale (i.e., en-phase). Ensuite, la comparaison de l'ensemble des couplages observés au sein des deux équipes suggère que certains de ces couplages étaient issus des contraintes et/ou de la culture du jeu basketball, dans la mesure où ils apparaissaient dans les comportements des deux équipes. Inversement, les autres couplages capturés étaient spécifiques à chaque équipe et susceptibles de témoigner d'une culture de coordination propre issue de routines de jeu particulières.

APPORTS AU DEVELOPPEMENT D'UNE APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX. Relativement à ce que cette étude apporte à une approche énaactive des couplages sociaux, trois éléments peuvent être retenus. Premièrement, si l'on considère que l'autonomie d'un couplage social est analysable au filtre de formes récurrentes d'activités qui signent la manière dont le réseau de relations s'est construit et stabilisé, alors les analyses de phase relative appliquées aux trajectoires de joueurs de basketball permettent de mettre au jour ce type de patterns de coordination internes à l'équipe. Deuxièmement, si ces patterns intra-équipe sont organisateurs du couplage social, alors il doit être possible d'identifier les signes de l'autonomie du(es) système(s) social(aux) en train de se réaliser. Dans cette optique, l'identification de signatures des systèmes dynamiques (e.g., attracteurs, variabilité fonctionnelle, temps de relaxation) est un argument supplémentaire pour avancer l'idée que les membres, par moments, se coordonnent de façon non-fortuite et produisent, ensemble, une unité sociale manifestant son autonomie (i.e., se constituant comme un système dynamique). Finalement, au-delà de ces formes stabilisées de couplages sociaux, nos résultats montrent que le réseau de coordination d'une équipe peut être structuré à différents degrés (i.e., couplages plus ou moins forts et récurrents), témoignant ainsi d'une histoire d'interactions diversement sédimentées et/ou plus ou moins sensibles aux aléas contextuels (i.e., perturbations). A titre illustratif, une des équipes étudiées témoignait de couplages généralement plus stables que l'autre, suggérant pour la

première un système social construit sur une identité plus forte et délimitant un domaine de perturbations relativement restreint, et suggérant pour la seconde un espace de perturbations plus large conduisant l'équipe, en tant que système social, à témoigner d'une flexibilité plus importante de ces coordinations interpersonnelles.

CONCLUSIONS. Au total, et pour conclure sur la valeur exploratoire de cette étude, ce type d'analyses de la coordination interpersonnelle au sein de l'ensemble des dyades de joueurs d'un match de basketball a participé à dessiner les contours de pertinence des outils issus de la théorie des systèmes dynamiques pour l'analyse de l'activité collective en situation naturelle de sport collectif (Bourbousson & Sève, 2010). Nous avons pointé les dyades entretenant des formes spatiotemporelles de coordination interpersonnelle relativement stables au cours du match, et souligné les moments de stabilisation/déstabilisation dynamique de ces coordinations. Par ailleurs, nous avons défendu dans une autre publication l'heuristique de ces outils pour le développement du programme de recherche du Cours d'action (voir Bourbousson & Fortes, 2012) : sans avoir nous-mêmes conduit les analyses que nous préconisons (nous y reviendrons dans le chapitre réservé aux directions de recherche que nous conduisons actuellement), nous avons explicité comment la finesse de ce type de descriptif dynamique était susceptible de renseigner les contraintes comportementales (participant des « contraintes extrinsèques », Theureau, 2006) menant à la construction de significations partagées, ou de renseigner les effets contextuels (ou « effets extrinsèques », Theureau, 2006) produits par celles-ci. Finalement, en permettant la mise au jour du réseau des interactions entre les composants du système social, c'est à dire en pointant des structures sous-jacentes de l'interaction spatiotemporelle en sport collectif, cette étude a reçu un écho intéressant dans la littérature scientifique mobilisant l'approche écologique et dynamique de l'action et de la prise de décision en sport (Araujo et al., 2006), notamment en ouvrant une voie efficace de trajectographie pour décrire le fonctionnement des équipes sportives (e.g., Davids, 2015).

CAPTURER LE COMPORTEMENT COLLECTIF EMERGEANT A UN NIVEAU GLOBAL D'ANALYSE

ENJEUX. En accord avec le principe d'universalité des systèmes dynamiques, une description du mouvement du jeu à l'aide des outils de la théorie des systèmes dynamiques peut se décliner à différents niveaux d'analyse, allant de la description des coordinations locales (e.g., dyadiques) à celle du comportement collectif émergent de ces coordinations locales (e.g., le système équipe comme une totalité). Notre deuxième étude tentait donc de capturer la dynamique du fonctionnement collectif à un niveau global d'analyse (i.e., macroscopique), à partir de l'identification de variables quantitatives qui résument les coordinations intra-équipes dans un indicateur unique.

Pour cela, sur la base des mêmes recueils de données que l'étude précédente, nous avons exploré des *métriques* susceptibles de rendre compte de l'équipe comme un tout, et des *variables collectives* susceptibles de rendre compte de l'interaction entre les deux équipes et ouvrant à une appréhension systémique de la rencontre sportive. Nous reprenons ici les résultats nous ayant permis de vérifier l'intérêt empirique de ce type de description macroscopique.

Méthodes. A partir d'un match professionnel de basketball, nous avons recueilli les données de trajectoire de chacun des joueurs évoluant sur le terrain. A partir de ces trajectoires, nous avons considéré les positions respectives de chacun des joueurs à un instant donné pour établir des *métriques* rendant compte du comportement collectif. L'étude a testé alternativement la pertinence de deux métriques (voir McGarry, 2009 pour un développement plus précis de ce type de démarche). Premièrement, chacune des équipes a été réduite à son centre de gravité (obtenu en calculant le barycentre non pondéré du pentagone formé par la position des cinq coéquipiers), et à son indice d'étirement (i.e., *stretch index*) (obtenu en additionnant les distances qui séparent chaque joueur du centre de gravité de l'équipe) (Figure 4A). A partir de ces métriques dont il était possible de tracer la variabilité au cours du temps, nous avons tenté ensuite de décrire l'interaction entre les deux équipes à partir de variables collectives. Pour cela, le calcul de la phase relative a été réalisé pour chacune des métriques, ainsi que le calcul d'une autre variable collective : l'indice d'étirement relatif (calcul de la différence entre les deux indices d'étirement) (Figure 4A). Finalement, la dynamique d'interaction entre les deux équipes a été l'objet d'une analyse supplémentaire visant à identifier le type de perturbations (i.e., événements de jeu) susceptibles d'expliquer les variations desdits indicateurs macroscopiques.

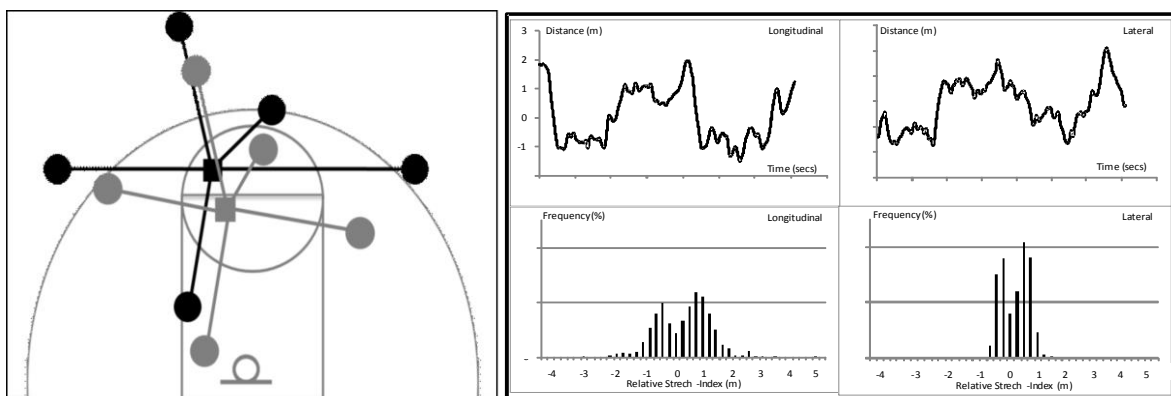


Figure 4 : 4A. Représentation du centre de gravité et de l'indice d'étirement de chaque équipe. Les deux carrés représentent le centre de gravité de chaque équipe. Les traits s'étendant des centres de gravité vers chaque joueur représentent la contribution de chaque coéquipier à l'indice d'étirement de son équipe (à partir de Bourbousson et al., 2010b).

4B. Dynamique de l'indice d'étirement relatif lors d'une séquence de jeu, et analyse fréquentielle de ce même indice sur l'ensemble des séquences recueillies (sur les plans latéraux et longitudinaux).

RESULTATS. Les résultats obtenus par l'analyse de la phase relative des deux métriques ont montré que les équipes produisaient un comportement collectif construit sur une relation en phase très stable entre les deux équipes (pour chacune des deux métriques utilisées). L'analyse de la variable collective *indice d'étirement relatif* a pointé pour sa part un comportement bimodal (deux attracteurs), et des bifurcations abruptes entre ces deux comportements stables : les deux équipes s'étiraient et se contractaient ensemble, mais pouvaient aussi renverser brusquement cette relation (Figure 4B). Du point de vue de la mise en relation de ces descriptions macroscopiques de l'interaction entre les deux équipes avec certains des événements du match, les occurrences de tir et les changements de possession de balle ont été scrutés. L'étude a mis en évidence que les tirs résultant d'un travail collectif (i.e., les tirs issus d'un travail collectif de plusieurs partenaires ont été distingués des tirs obtenus individuellement par une supériorité dans le duel) étaient précédés par une déstabilisation de la phase relative sur le plan latéral, ce qui n'était pas le cas pour les tirs résultant essentiellement d'un travail individuel. L'étude a également souligné que les changements de possession de balle étaient associés aux changements de configuration en termes d'étirement-contraction des deux équipes.

APPORTS EMPIRIQUES A LA COMPREHENSION DU FONCTIONNEMENT DES EQUIPES SPORTIVES. Sur le versant des apports empiriques à la connaissance du fonctionnement des équipes de sport collectif, cette étude a contribué à opérer une bascule dans le domaine dit de l'analyse du match (i.e., *match analysis* ou *game analysis*). Les analyses de type *trajectographie* ont été considérées ces dernières années comme de véritables opportunités méthodologiques susceptibles de permettre l'identification de patrons comportementaux stables sous-jacents à la performance collective produite. Si ce type de méthode a été considéré comme une véritable avancée, c'est que jusqu'alors les patterns organisateurs de l'activité collective des équipes étaient difficilement repérables par les méthodes usuelles d'analyse notationnelle, basées sur la recherche de structures probabilistes sous-jacentes à l'enchaînement d'événements discrets (e.g., McGarry & Franks, 1996). Pourtant, c'est la mise au jour de quelques-uns de ces invariants qui permet aux entraîneurs d'anticiper certaines des caractéristiques de l'interaction compétitive future. C'est dans ce cadre que cette étude a été plutôt bien reçue et reprise par la communauté scientifique de l'analyse du match. Cette étude a contribué à ouvrir un cadre d'appréhension des équipes comme des superorganismes (Duarte et al., 2012), c'est-à-dire comme pouvant être appréhendées en tant qu'unités sociales.

APPORTS AU DEVELOPPEMENT D'UNE APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX. Du point de vue de la contribution de cette étude à une approche énaactive des couplages sociaux que nous essayons de construire, les apports sont de deux ordres. Premièrement, la construction de *métriques* rendant compte du comportement de l'équipe comme une totalité (e.g., centre de gravité, indice d'étirement) permet une appréhension de la dynamique du comportement collectif, c'est-à-dire une description du système social comme entité autonome et susceptible d'une description en lui-même. Toutefois, puisque l'autonomie du système social est possiblement déconstruite et reconstruite dans le décours de l'activité, une analyse authentiquement énaactive ne devrait pas considérer *de facto* ce niveau d'analyse comme pertinent et suffisant. Il devrait être préférable de ne retenir que les portions de comportement collectif pour lesquelles les conditions de cette autonomie ont été vérifiées. Dit autrement, l'équipe comme entité autonome est une réalité empirique qui n'est pas « donnée » comme présumé (e.g., Duarte et al., 2012), mais qu'il faut d'abord délimiter ou « reconstruire » à partir d'une analyse de l'activité (ou par exemple d'une analyse multiniveaux, cf. ci-après). A ces conditions, le niveau macroscopique d'analyse pourrait constituer une description acceptable du couplage social. Dans ce cadre, notre étude est une contribution méthodologique préalable à une telle investigation qui reste à être menée. Nous développons plus en avant la possibilité d'échantillonner au préalable les portions d'activités méritant une description macroscopique dans le chapitre réservé à nos directions actuelles de recherche (e.g., Partie 4, et projet Bourbousson, 2016-2020 dans la Partie 5).

Deuxièmement, l'identification de *variables collectives* qui résument l'interaction entre une équipe donnée et l'équipe adverse permet de déplacer le regard du système social vers son couplage structurel, ou pour être plus précis, une partie de celui-ci. Dans cette optique, notre étude est une exploration des outils méthodologiques permettant d'ambitionner une telle description. Par la suite, ces outils devraient être complétés par une considération plus forte pour la perspective propre de l'équipe, afin de permettre une description de l'asymétrie de ce couplage structurel. En quelque sorte, une telle approche est déjà décelable dans cette étude : rechercher la nature des événements susceptibles d'expliquer la dynamique des variables collectives (e.g., occurrences des tirs, changements de possession) permet de délimiter ce qui perturbe le comportement de l'équipe, et dans ce sens constitue une première description de la « sensibilité » du système social en dessinant les contours de la perspective qu'il construit sur le monde.

CONCLUSIONS. En somme, cette étude nous a doté d'outils variés et fonctionnels permettant la description du comportement collectif à un niveau macroscopique d'analyse. Il reste à intégrer à ce type d'analyse des conditions épistémologiques supplémentaires considérant le caractère labile et

transitoire de l'autonomie des couplages sociaux (i.e., construction/déconstruction de la frontière du système social), et permettant de sélectionner/délimiter dans le corpus de données les séquences d'activité collective méritant une description de ce niveau. Finalement, et en considérant l'étude précédente relative à la description des couplages locaux (i.e., dyadiques), il manque également une description simultanée et intégrative des différents niveaux d'analyse (i.e., local et global) qui a été conduite comme une tentative d'approche multi-niveaux (voir sections suivantes).

PARTIE 3 - CHAPITRE 2

LES COUPLAGES SOCIAUX COMME UNE CONSTRUCTION CONJOINTE

DE SIGNIFICATIONS



Si l'analyse comportementale des phénomènes de coordination interpersonnelle aide à appréhender l'interaction sociale comme une activité située en train de se faire, une approche énaïve se doit d'aller au-delà de l'analyse des coïncidences spatiotemporelles de deux agents qui s'influencent mutuellement. Un pas supplémentaire est nécessaire qui considère le rôle non-accessoire du processus sémiotique de compréhension de l'autre et du monde organisant les modes de régulation que chaque protagoniste instancie dans son activité. Les études à suivre ont investigué la façon dont les situations naturelles de jeu et de coordination spatiotemporelle des acteurs donnaient lieu à une compréhension du monde (i.e., notamment la compréhension de l'activité d'autrui) plus ou moins similaire entre les membres, ou bien comment les activités individuelles de construction de significations pouvaient être elles-mêmes coordonnées. Si la régulation du couplage social se fait par la coordination des mouvements, et si les mouvements servent la construction de significations, alors les individus peuvent coordonner leurs mondes propres dans leurs rencontres sociales. De la sorte, peut se créer entre les protagonistes une convergence qui n'est pas seulement observable physiquement, mais qui relève des vécus subjectifs qui accompagnent leur engagement dans la situation collective. C'est cette convergence entre les mondes propres de chacun qui est appelée *participation à la construction de significations partagées (participatory sense-making* ; De Jaegher & Di Paolo, 2007) et qui apparaît lorsque les processus individuels d'attribution de significations sont affectés par l'autrui interagissant.

Dans ce sens, la ligne de travaux dont nous faisons la synthèse ici propose une analyse disciplinée de l'expérience que les membres font de leur interaction, et de la manière dont ces expériences se « connectent » dynamiquement dans et par la situation pour donner lieu à une activité coordonnée. Cette ligne d'étude a puisé l'essentiel de ses fondements dans le programme de recherche du Cours d'action et la modélisation analytique empirique permise pour l'analyse de l'activité signifiante humaine (voir Theureau, 2006 pour plus de détails sur l'opérationnalisation du paradigme énaïve par cette modélisation analytique). La première étude a permis d'explorer les modalités cognitives d'une activité collective située afin de générer des hypothèses ouvertes relatives aux processus de partage d'une perspective commune dans l'activité. Ensuite, à partir de l'hypothèse suggérée selon laquelle les membres partagent rarement une même perspective dans leur activité collective, nous avons, dans une deuxième étude, caractérisé de quelle manière les membres partageaient dynamiquement des préoccupations de jeu similaires, et, dans une troisième étude, caractérisé dans quelle mesure les éléments de connaissances mobilisés par les partenaires pour interpréter le déroulement du jeu relevaient de registres similaires.

EXPLORATION DES MODES DE COORDINATION COGNITIVE ENTRE MEMBRES DE L'ÉQUIPE AU COURS DE LEUR ACTIVITE COLLECTIVE SITUEE

ENJEUX. Cette étude est la première à avoir été conduite dans notre parcours de recherche, expliquant ainsi le caractère exploratoire/générateur d'hypothèses qui lui était attribué (Bourbousson et al., 2010c). De manière générale, l'étude de cas conduite visait à caractériser le fonctionnement d'une équipe de basketball en compétition. Elle ambitionnait de dresser des hypothèses générales relatives aux modalités vécues de la coordination interpersonnelle en situation réelle, notamment quant aux formes dynamiques d'interdépendance cognitive observées dans le décours de l'activité collective.

Partant du constat que très peu d'études à l'époque avaient investigué la question de la coordination située des activités des membres d'une équipe de sport collectif, nous argumentions en direction du besoin d'approches descriptives. L'enjeu de l'étude était d'identifier les réseaux dynamiques de connectivité cognitive qui se tissaient entre les membres dans le décours de leur activité. Les liens cognitifs observés étaient susceptibles d'éclairer notamment la notion de *mutual awareness*, exploitée dans l'analyse du travail mais non investiguée à cette date dans l'analyse des situations sportives. Pour cela, nous avons analysé l'activité signifiante des membres se coordonnant en nous référant à l'objet théorique du *cours d'expérience* (Theureau, 2006). Cet objet théorique vise la description pas-à-pas de l'expérience vécue par les participants au cours de leur activité, ainsi que l'articulation de ces activités signifiantes entre elles à chaque instant.

METHODES. Les cinq membres d'une équipe de basketball experte ont participé à l'étude (i.e., le 5 majeur). Leur activité respective a été analysée durant les dix premières minutes du match. Le match de championnat a été filmé, à la suite de quoi des entretiens d'autoconfrontation individuels ont été réalisés avec chacun des joueurs, permettant de recueillir des données relatives à la conscience préreflexive des joueurs au cours de l'activité-cible.

Les données ont été traitées en deux temps. Le premier temps visait la reconstruction de l'histoire de la conscience préreflexive de chacun des partenaires (i.e., leurs cours d'expérience) et de leur synchronisation. Ces analyses étaient susceptibles de rendre compte à chaque instant du match de la façon dont les joueurs faisaient simultanément l'expérience de leur activité, et construisaient de la sorte des significations plus ou moins articulées (Tableau 1). Le deuxième temps, plus ciblé, a permis d'identifier à chaque instant les partenaires pris en compte par chacun des joueurs, et de dessiner la dynamique de ce réseau de connectivité au cours du jeu.

PARTIE 3 TRAVAUX DE RECHERCHE : ACQUIS EMPIRIQUES ET METHODOLOGIQUES

CHAPITRE 2 - ENJEU 2 – DECRIRE LES COUPLAGES SOCIAUX COMME UNE CONSTRUCTION CONJOINTE DE SIGNIFICATIONS

Description extrinsèque	Signes hexadiques de Chris	Signes hexadiques de Théo	Signes hexadiques de Pierre	Signes hexadiques de Luc	Signes hexadiques de Noé
Chris et Noé sont en zone arrière. Chris a le ballon et Noé court derrière lui. En zone avant, Théo court dans l'aile droite, et Pierre dans l'aile gauche. Léo court dans l'axe central.	E = Monter le ballon sans le perdre A = Débordement de son défenseur S = Lorsque le défenseur me colle sur la montée de balle, j'essaie de le déborder par le dribble R = Le défenseur me colle I = Validation du type : le meneur adverse défend en pression U = Essaie de passer son défenseur en dribble	E = Occuper sa place d'ailier A = Annonce d'un système par Chris S = Quand je suis ailier, je dois courir à mon poste, dans l'aile R = On monte la balle I = NI U = Court dans l'aile pour aller se placer	E = Occuper sa place d'ailier A = Annonce d'un système par Chris S = Lorsque Chris a monté la balle, il annonce généralement un système R = Chris a réussi à passer la défense I = NI U = Attend que Chris annonce le système	E = Assurer son rôle sur le système 'transition' A = Placement au poste haut pour faire un main à main avec Pierre S = Quand on joue vite, c'est souvent 'transition' qui est joué R = Situation de jeu rapide I = NI U = Se dit que Chris va sûrement annoncer 'transition'	E = Assurer son rôle sur le système 'transition' A = Ballon donné à Luc dans l'aile S = Souvent on passe par l'ailier pour essayer de donner la balle à l'intérieur R = On joue sur 'transition' I = NI U = Court se placer

Tableau 1 : Illustration de l'articulation des cours d'expérience des partenaires à un instant donné du jeu. Les catégories E,A,S,R,I et U renvoient aux composantes des signes hexadiques (voir Theureau, 2006 pour plus de détails sur la modélisation analytique du cours d'expérience)

RESULTATS. Les résultats ont montré que, la plupart du temps, les joueurs ne prenaient en compte qu'un seul partenaire pour conduire leur activité. Parfois même, les joueurs ne s'appuyaient pas sur l'activité de leurs partenaires, dès lors que le maintien de l'efficacité propre de leur duel relevait d'un engagement prioritaire (Tableau 2A). Egalement, en portant le regard sur les partenaires qui étaient les plus (ou les moins) pris en compte par les joueurs respectifs (Tableau 2B), l'analyse a fait apparaître un partenaire (i.e., Chris, meneur de jeu) étant respectivement pour chacun de ses partenaires celui dont les comportements étaient le plus souvent pris en compte dans leur activité. Inversement, un autre partenaire (i.e., Luc, joueur intérieur) était systématiquement le moins pris en compte par ses partenaires pour agir.

		A					B					
		Nombre de partenaires pris en compte					En relation avec					
		0	1	2	3	4	Luc	Théo	Pierre	Chris	Noé	
Joueurs	Chris	107	134	26	7	2	Luc	--	43	35	102	31
	Pierre	112	93	71	16	0	Théo	12	--	50	78	44
	Théo	140	134	21	0	0	Pierre	49	72	--	116	51
	Noé	89	180	33	0	0	Chris	28	55	61	--	76
	Luc	90	165	23	3	0	Noé	43	66	45	81	--
							Total	132	236	191	377	202

Tableau 2 : **2A.**Degrés de connectivité des joueurs. **2B.**Nombre de fois où un joueur a pris en compte un partenaire donné

Ensuite, la caractérisation plus précise de la manière dont les partenaires se prenaient en compte « mutuellement » montre que seuls 13% des coordinations cognitives étaient réciproques (i.e., les partenaires se prenaient en compte mutuellement au même instant), et donc que l'essentiel du réseau de connectivité se tissait dynamiquement à partir de liens cognitifs unidirectionnels. Finalement, à un niveau plus global d'analyse, les résultats montrent que différentes formes de réseaux se dessinent aux différents instants du match, allant de réseaux connectés (i.e., tous les membres sont directement ou indirectement connectés entre eux) à des réseaux fragmentés (i.e., constitués de sous-réseaux non reliés entre eux), laissant aussi possiblement apparaître des joueurs isolés (i.e., coupés de toute relation entrante ou sortante). La forme de réseaux la plus fréquente était l'association d'un réseau connecté de petite taille associé à un ou deux joueurs isolés (Figure 5).

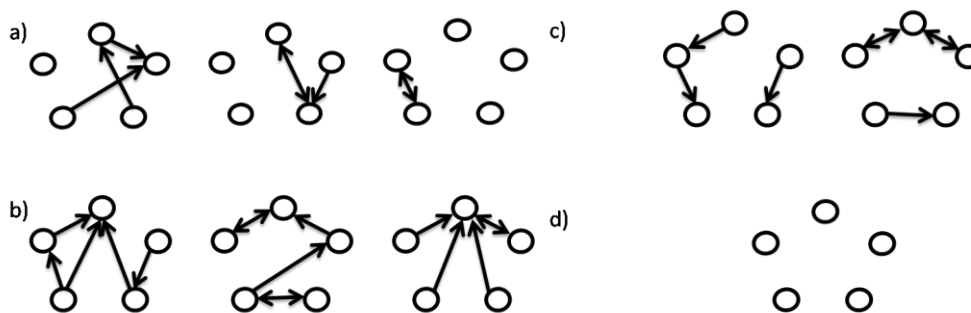


Figure 5 : Schématisation des formes typiques d'organisation collective : a) organisation collective par juxtaposition d'une coordination locale, avec une ou plusieurs activités individuelles ; b) organisation collective par imbrication en chaîne de coordinations dyadiques ; c) organisation collective par juxtaposition de deux coordinations locales ; d) organisation collective par juxtaposition des cinq activités individuelles

APPORTS EMPIRIQUES A LA COMPREHENSION DU FONCTIONNEMENT DES EQUIPES SPORTIVES.

Relativement à la littérature portant sur la cognition collective, cette étude exploratoire a tout d'abord pointé que la notion d'*interdépendance* dans l'équipe, qui avait classiquement été appréhendée comme une propriété de l'équipe définissable *a priori* à partir des caractéristiques de la tâche sportive (e.g., Carron & Hausenblas, 1998 ; Steiner, 1972), méritait d'être considérée comme un phénomène situé se jouant et se déjouant dans le décours de l'activité collective. Les rôles donnés aux joueurs sont apparus comme des contraintes façonnant les modalités d'expression de ces formes d'interdépendance. Ensuite, deux éléments principaux ont été soulevés comme pouvant générer des pistes fructueuses d'investigation pour les études suivantes. Premièrement, cette étude a questionné l'idée d'une *awareness mutuelle* comme ressort-clé de la coordination interpersonnelle. En effet, plusieurs travaux avaient suggéré que la capacité des membres à prendre en compte mutuellement leurs activités constituait la condition majeure d'une activité coordonnée (e.g., Heath, Sanchez Svensson, Hindmarsh, Luff, & Lehn, 2002) ; or, notre étude a pointé la faible proportion

d'occurrences de cette forme de coordination. Deuxièmement, les formes de coordination associant les cinq joueurs simultanément dans un réseau cognitif connecté n'étaient pas les formes les plus fréquentes, devancées par des réseaux de connectivité de plus petite taille. Ensemble, ces deux éléments ont permis de questionner les modèles usuels de la cognition collective comme relevant d'un partage mutuel, et par tous les protagonistes, de la même perspective (e.g., Reimer, Park, & Hinsz, 2006). Ce modèle usuel se reflète dans le modèle dit de la *fleur* (Figure 6), dont la clé réside dans le partage par tous de la plus grande part de leurs perspectives réciproques (Eccles & Tenenbaum, 2004). Les coordinations interpersonnelles observées dans notre étude semblaient ne pas totalement relever de ce type de modèle, et ainsi appeler d'autres modèles de l'agencement des activités individuelles (voir section suivante pour une discussion de ces autres modèles).

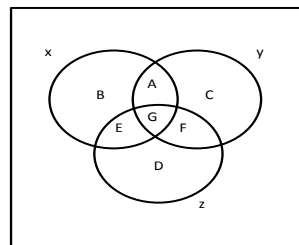


Figure 6 : Représentation graphique du partage cognitif dans une équipe de trois (à partir de Eccles & Tenenbaum, 2004).

Chaque cercle représente la compréhension d'un individu. La clé du modèle réside dans le partage par tous d'une perspective commune (i.e., zone centrale G) supportant la coordination des membres.

APPORTS AU DEVELOPPEMENT D'UNE APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX. Au regard de l'épistémologie énaïve qui guide le développement de nos travaux, cette étude, aussi exploratoire fut-elle, suscite quelques commentaires. L'approche énaïve des couplages sociaux distingue plusieurs formes de concrétisation empirique des unités de troisième ordre (i.e., les systèmes sociaux), renvoyant au spectre des couplages sociaux (De Jaegher & Di Paolo, 2007). Parmi elles, la forme la plus sophistiquée décrit le couplage mutuel des organismes (i.e., co-régulation), se co-déterminant parfaitement pour donner lieu à l'émergence d'un nouveau domaine autonome de phénomènes (i.e., phénomènes sociaux ou consensuels, Maturana & Varela, 1994). Alors que l'apparition de cette forme au cours du jeu était possible dans les moments de prise en compte mutuelle de leurs activités par les membres, cette forme de couplage ne se produisait qu'entre certains partenaires seulement, et ne permettait pas de décrire le couplage social à l'œuvre entre les cinq joueurs. Aussi, non seulement la co-régulation dans une équipe de cinq membres ne concernait au mieux que deux ou trois partenaires simultanément, mais les occurrences de ce type de couplage social restaient également faibles et moins fréquentes que les formes unidirectionnelles de couplage (i.e., un joueur s'ajuste à son partenaire, sans que celui-ci ne s'ajuste en retour à l'activité du premier

protagoniste). Cette deuxième forme de couplage social, dans laquelle l'acteur se coordonne « à son partenaire » plutôt qu'« avec son partenaire » est nommée *one-sided coordination* (Di Paolo et al., 2010), a été relativement négligée dans son rôle fonctionnel (Laroche, 2015a), et est supposée produire des patterns de coordination moins stables que ceux régis par la co-régulation (Froese & Di Paolo, 2008). De la sorte, bien que les traitements réalisés à ce stade du développement de nos travaux ne permettent pas entièrement de décrire l'épaisseur des phénomènes de construction de significations partagées, ils orientent déjà la compréhension de la nature de ces phénomènes en basketball, et *in fine* dans des collectifs plus larges que les dyades. L'équipe de basketball semblait être le lieu simultanément de différents degrés de participation à la construction de significations partagées (i.e., *participatory sense-making*, De Jaegher & Di Paolo, 2007) qui s'imbriquent entre eux à un instant donné, puisent peu dans les formes les plus sophistiquées de co-régulation, et de la sorte seraient peu susceptibles de faire émerger en situation un nouveau domaine autonome de phénomènes. Ainsi, cette étude interroge l'idée de partage d'une perspective commune par l'ensemble des joueurs dans leur activité située de coordination, condition supposée indispensable à une coordination interpersonnelle efficace.

CONCLUSIONS. Cette étude exploratoire a appelé la conduite subséquente de deux études qui visaient à approfondir empiriquement la suggestion selon laquelle les membres partageraient rarement une perspective commune au cours de leur activité collective. Toutes deux référées au programme de recherche du Cours d'action (Theureau, 2006), les deux études suivantes ont été pensées de façon complémentaire. La première a ambitionné la description de la manière dont les membres partageaient les mêmes préoccupations et/ou comment se construisait dynamiquement un tel partage dans le décours temporel de leurs interactions situées (Bourbousson et al., 2012). La seconde visait une description de la manière dont des éléments de connaissance étaient mobilisés par les membres au cours du match pour interpréter la situation de jeu dans laquelle ils étaient communément immergés. Elle a ensuite traité de la similarité de ces éléments de connaissance, et de leur dynamique de mobilisation au cours de leur activité collective afin de mettre au jour les processus de construction/déconstruction du référentiel de chaque protagoniste (et *in fine* de l'hypothétique *référentiel commun* de l'équipe).

LES MEMBRES DE L'ÉQUIPE PARTAGENT-ILS UNE PERSPECTIVE COMMUNE AU COURS DE LEUR ACTIVITÉ COLLECTIVE ? ANALYSE DU PARTAGE DE PRÉOCCUPATIONS

ENJEUX. Partant du constat que l'activité collective est supposée permise par le partage de contenus cognitifs similaires entre les membres (Eccles & Tenenbaum, 2004) mais que nos premières

analyses questionnent ces hypothèses en sport collectif, cette étude de cas ciblait son analyse sur le partage par les joueurs de préoccupations similaires à chaque instant du décours du match (Bourbousson et al., 2012). Cette analyse était susceptible d'éclairer la manière dont les membres projettent sur l'environnement des perspectives similaires et/ou compatibles quand ils se coordonnent dans l'espace et dans le temps pour produire une performance collective. Egalement, cette étude ambitionnait de traiter non seulement du *partage cognitif* (i.e., *sharedness*), mais également des processus dynamiques de partage cognitif (i.e., *sharing*).

METHODES. Les cinq membres d'une équipe de basketball experte ont participé volontairement à l'étude (i.e., le 5 majeur). Leur activité respective a été analysée durant les dix premières minutes du match. Ledit match de championnat a été filmé, suite auquel des entretiens d'autoconfrontation individuels ont été réalisés avec chacun des joueurs permettant de reconstruire leur cours d'expérience au cours de l'activité-cible.

Les données ont été traitées en deux temps. Le premier temps visait la reconstruction de l'histoire de l'activité vécue de chacun des partenaires (i.e., leurs cours d'expérience) et de leur synchronisation. Cette synchronisation était ensuite complétée par une analyse des contraintes qui pesaient sur la dynamique intersubjective observée, ainsi que des effets situationnels associés à cette dynamique (i.e., objet théorique du *cours d'action*). Ces analyses étaient susceptibles de rendre compte à chaque instant du match de la façon dont les joueurs s'engageaient subjectivement dans leur activité, et construisaient/déconstruisaient de la sorte des préoccupations de jeu plus ou moins similaires. Le deuxième temps, plus ciblé, a permis d'identifier les préoccupations-typiques des protagonistes, le degré de similarité de ces préoccupations entre les joueurs, ainsi que les processus situationnels dynamiques qui conduisaient à des moments de partage par tous de préoccupations similaires.

RESULTATS. Les résultats ont montré que les joueurs organisaient leur activité en relation avec quatre grandes préoccupations-types : *i*) réaliser une routine collective, *ii*) exploiter les opportunités offertes par le jeu, *iii*) assurer sa performance propre, et *iv*) renforcer l'esprit d'équipe. Ces préoccupations étaient inégalement représentées dans les activités respectives des partenaires : les résultats ont pointé une forte prévalence chez les protagonistes des préoccupations centrées sur leur activité propre (i.e., pour moitié des activités étudiées). Ensuite, ces préoccupations pouvaient apparaître alternativement dans le décours du jeu, et être plus ou moins similaires à un instant donné entre les joueurs, dessinant de la sorte différents formes de partage cognitif. Parmi ces formes (e.g., non-partage), c'est le *partage partiel* de préoccupations à un instant donné qui semblait le

mieux rendre compte des données d'activité collective traitées. Le *partage total* de préoccupations (i.e., les cinq joueurs ont une même préoccupation au même instant) était relativement rare.

Les situations de partage cognitif total ont été l'objet d'un traitement supplémentaire, visant à décrire la temporalité des événements qui conduisaient à une telle forme de partage. Les résultats ont pointé deux dynamiques typiques de construction d'un partage cognitif total au sein de l'équipe (Figure 7). La première dynamique a été appelée *adoption simultanée de préoccupations similaires*. Ici, très peu d'éléments dans la dynamique situationnelle permettaient de comprendre que les joueurs adoptent subitement des préoccupations identiques. Cette forme de partage cognitif apparaissait dès lors que les joueurs identifiaient une situation-type (i.e., connue de tous, travaillée abondamment à l'entraînement), engendrant une convergence immédiate des perspectives que chacun projetait sur le jeu. La deuxième dynamique a été appelée *adoption progressive de préoccupations similaires*. Ici, les préoccupations des partenaires convergeaient de proche en proche vers une même préoccupation. Cette « contagion » progressive des perspectives propres de chacun était expliquée par des influences situationnelles en chaîne qui se jouaient dans la dynamique de l'activité collective. Un premier joueur manifestait dans la situation collective des comportements qui permettaient à un autre partenaire d'interpréter son activité, et l'amenait à modifier la nature de son engagement dans le jeu. Les comportements de ce deuxième joueur s'ajoutant aux comportements du premier créaient les conditions situationnelles favorables à ce que les autres partenaires puissent également inférer la nature de cet engagement, et adopter une préoccupation du même ordre. Ainsi, de proche en proche, et par la médiation situationnelle, une préoccupation se diffusait au sein de l'équipe, conduisant finalement à une situation de partage cognitif total.

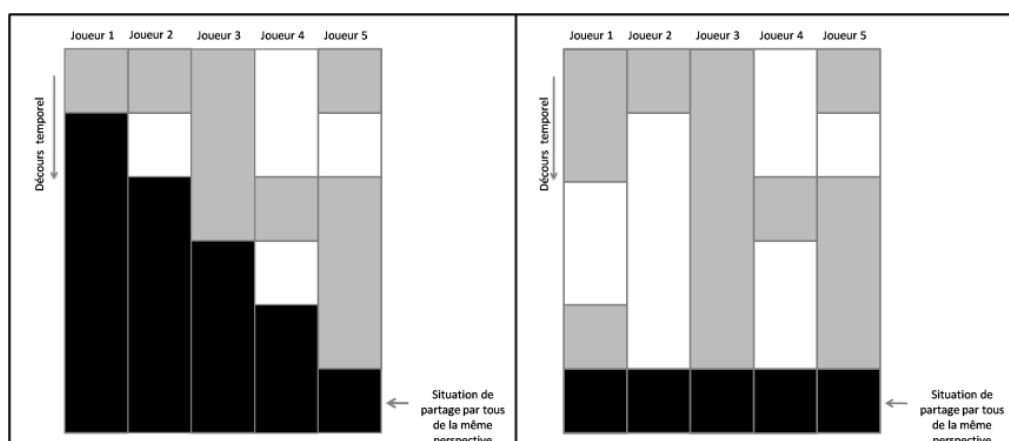


Figure 7 : Illustration des deux dynamiques de convergence cognitive observées dans l'analyse du partage par les joueurs de leurs préoccupations. Les zones blanches, grisées et noires représentent des contenus cognitifs différents.

APPORTS EMPIRIQUES A LA COMPREHENSION DU FONCTIONNEMENT DES EQUIPES SPORTIVES.

Relativement à la littérature portant sur la cognition collective, cette étude a apporté plusieurs éléments. Premièrement, et pour rediscuter dudit modèle de la *fleur* (Figure 6) supposé rendre compte de l'agencement des activités individuelles favorables à une activité collective coordonnée, nos résultats ont montré que ce modèle pouvait être convoqué pour rendre compte de certaines formes de partage des préoccupations. C'est le cas dans la dynamique d'*adoption simultanée d'une même préoccupation*, pour laquelle les interprétations situées des membres se rejoignent parfaitement (i.e., reconnaissance par tous d'une situation-type), engendrant de ce fait des préoccupations similaires et favorables à la coordination des activités des membres. De la sorte, ces observations ont amené à considérer ce modèle (i.e., de la *fleur*) comme ayant une certaine pertinence dans la description des modalités de coordination interpersonnelle observées en situation. Pour autant, les phénomènes de cet ordre n'étaient pas prépondérants, dessinant ainsi la possibilité de décrire la coordination interpersonnelle à partir d'autres modèles de l'activité collective. Pour avancer sur ces autres possibilités, les ajustements situés de proche en proche observés nous ont amené à suggérer que la coordination des activités puisse également s'organiser autour d'un modèle dit de la *chaîne* témoignant de l'imbrication de coordinations locales (i.e., ajustements interpersonnels restreints). Appliqué à la notion de compréhension partagée, ce modèle traduisait une compréhension partagée organisée autour de *zones locales de compréhension partagée* (Figure 8) (Bourbousson, 2010).

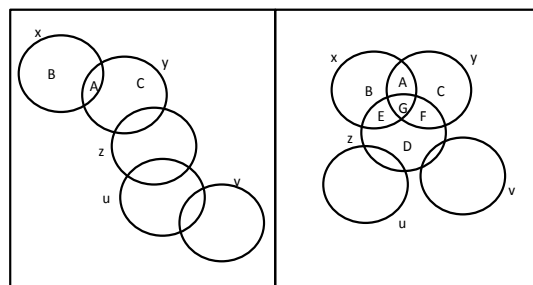


Figure 8 : Représentation graphique de deux cas illustrant une conception du partage des compréhensions dans une équipe de cinq membres organisée autour du modèle de la chaîne (i.e., zones locales et distribuées de compréhension partagée).

APPORTS AU DEVELOPPEMENT D'UNE APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX. Relativement à la compréhension plus générale d'une approche énative des couplages sociaux, le faible nombre des moments de partage des préoccupations observé permet d'étayer deux éléments. En premier lieu, nos résultats renforcent l'idée selon laquelle une activité collective construite sur une relative fragilité du partage cognitif peut cependant être associée à une certaine efficacité de l'interaction. Dans ce sens, ce résultat corrobore l'étude de Poizat et collaborateurs (Poizat et al., 2009), relative à

la construction de significations partagées entre des partenaires d'une même équipe de double en tennis de table lors d'un match. Se référant à une approche énaïve, l'étude en question avait suggéré que le maintien d'une efficacité satisfaisante de la performance collective pouvait se faire malgré un faible nombre des moments d'interprétations partagées par les partenaires. Les auteurs avaient ainsi proposé que des points de raccordement « ponctuels » soient suffisants pour assurer la viabilité des couplages sociaux au sein de dyades, proposition que notre étude accrédite dans le cadre de collectifs plus larges (i.e., cinq membres). Cette étude d'un collectif plus large qu'une dyade permet, en second lieu, de montrer que lesdits raccordements situés des activités, en plus de se réaliser ponctuellement, se réalisent localement (i.e., entre certains protagonistes seulement). De la sorte, les partages locaux de préoccupations observés, ainsi que le phénomène de « contagion » de proche en proche des préoccupations apportent des données empiriques crédibles pour l'appréhension des phénomènes sociaux (i.e., construction de significations partagées) comme reposant sur des interactions en train de se faire et de se défaire en permanence. De la sorte, si l'identité d'un système social se définit dans l'interaction et par des formes d'auto-référencement conduisant à une délimitation dynamique de la frontière du système (Froese & Di Paolo, 2011), alors notre étude illustre empiriquement la *précarité* d'une telle frontière dans un collectif de cinq membres.

Ainsi, des zones locales de significations partagées se créent au sein du collectif, et l'interaction de ces zones entre elles permet aux membres d'actualiser régulièrement l'expérience qu'ils font du monde, potentiellement empreint de la perspective propre des autres partenaires (e.g., phénomènes de contagion des perspectives propres). La convergence des mondes propres des partenaires, ainsi que l'actualisation des significations partagées à un instant t pouvait concerner toute l'équipe ou une partie des joueurs seulement et se réaliser simultanément ou en chaîne. De la sorte, cette dynamique interne de construction/déconstruction du couplage social, les agencements en chaîne de compréhensions locales, l'absence de centre localisé de contrôle du déroulement de l'activité collective (e.g., un référentiel commun prescrivant les compréhensions situées), nous ont amené lors de cette étude à suggérer que les modalités précaires de construction du fonctionnement du système social peuvent témoigner d'une forme viable de fonctionnement collectif, telle que repérée dans d'autres systèmes complexes (Bourbousson et al., 2011). Si ce type de suggestion rapproche les phénomènes sociaux observés au sein des équipes humaines de phénomènes sociaux observés ailleurs (e.g., bancs de poissons, vols d'oiseaux) et pour lesquels des propriétés locales, complexes, dynamiques, et/ou distribuées ont été mises en avant, elles laissent ouvertes les hypothèses expliquant qu'une telle distribution des compréhensions individuelles permette tout de même la téléologie de tels systèmes humains. Nous discutons ci-après des conditions qui font qu'une telle distribution des compréhensions (i.e., associée à des coordinations unidirectionnelles) puisse

tout de même permettre le maintien de la viabilité du comportement collectif, notamment en intégrant des possibilités de *contrôle externe* de l'activité (Di Paolo et al., 2010) (voir Chapitre 4 pour une reprise de cette discussion) : notamment, les expériences passées des protagonistes (i.e., une forme de référentiel commun dans l'équipe) sont supposées aider à la viabilité de l'unité sociale dans des conditions aussi faibles de co-régulation. Autrement dit, il est possible qu'une forme de culture partagée aide les acteurs à réduire le domaine de leurs sensibilités respectives (i.e., focaliser son attention sur une partie de la situation), à orienter et agencer la combinaison de leurs perspectives propres. Ce type de coordination unidirectionnelle médiée par un processus de *pré-coordination* (Di Paolo et al., 2010) renvoie à une coordination interpersonnelle dite implicite, et serait un des marqueurs de l'expertise collective (Bourbousson et al., 2015).

CONCLUSIONS. Cette étude suggère que les expériences passées partagées (i.e., une forme de culture) par les partenaires pouvaient jouer deux rôles dans la construction d'interprétations situées convergentes par les membres. Le premier rôle est celui, très hypothétique tel que dressé ci-dessus, de maintien de la téléologie du système malgré une forte distribution des compréhensions individuelles (i.e., peu de significations partagées à un instant donné). Le deuxième rôle renvoie à l'importance que prenaient ces expériences passées partagées dans la reconnaissance partagée des situations-types. Sur ce point, notre étude a illustré la manière dont des routines collectives (e.g., routines interprétatives) pouvaient aider à construire la convergence du sens en situation, même si ces expériences antérieurement partagées ne pouvaient enfermer l'ensemble des modalités de construction des significations partagées en situation. En effet, et pour corroborer les principes d'une approche éactive des couplages sociaux, l'activité située de construction de significations que chaque protagoniste développait en situation restait la condition indispensable à la mobilisation de ces expériences passées comme ancrage interprétatif, confirmant ainsi l'intérêt d'un primat donné à l'activité située des membres (De Jaegher & Di Paolo, 2007).

Ces expériences antérieurement partagées (i.e., assimilable à des éléments de connaissance) qui donnent le sentiment de fonctionner en arrière-plan comme un référentiel commun (i.e., des connaissances partagées), ne sont donc pas à considérer comme un réservoir disponible à chaque instant pour les membres et orientant la façon dont le monde se donne à voir pour eux. Le référentiel commun (i.e., puisque nous avons choisi de maintenir ce terme) n'a de réalité que celle des activités situées de construction de significations individuelles, qui puisent dans leurs histoires respectives et qui, parfois, se rejoignent en puisant dans un passé commun (i.e., ayant laissé des traces plus ou moins similaires).

LES MEMBRES DE L'ÉQUIPE PARTAGENT-ILS UNE PERSPECTIVE COMMUNE AU COURS DE LEUR ACTIVITE COLLECTIVE ? ANALYSE DE LA SIMILARITE DES ELEMENTS DE CONNAISSANCE MOBILISES PAR CHACUN POUR INTERPRETER LA DYNAMIQUE DE L'ACTIVITE COLLECTIVE

ENJEUX. Renouvelant le point de départ de l'étude précédente, à savoir que le phénomène de partage cognitif mérite d'être décrit empiriquement, nous avons conduit une étude de cas visant à décrire la façon dont les membres mobilisent des éléments de connaissances similaires pour construire leurs interprétations au cours d'un match de basketball (Bourbousson et al., 2011). Cette analyse était susceptible d'éclairer la notion de référentiel commun au sein de l'équipe, et d'avancer dans la compréhension de la manière dont les membres construisent des perspectives similaires et/ou compatibles quand ils se coordonnent dans l'espace dans le temps pour réaliser une performance collective. Egalement, et en respect des principes épistémologiques avancés précédemment, l'étude ambitionnait de décrire l'évolution temporelle des éléments de connaissance identifiés, et subséquemment l'évolution temporelle dudit référentiel commun.

METHODES. Les neuf membres d'une équipe de basketball experte ont participé volontairement à l'étude (i.e., l'ensemble des joueurs de l'équipe). Leur activité respective a été analysée durant l'ensemble d'un match de championnat. Ledit match a été filmé, à la suite de quoi des entretiens d'autoconfrontation individuels ont été réalisés avec chacun des joueurs permettant de recueillir des données relatives à l'expérience vécue des joueurs au cours de l'activité-cible.

Les données ont été traitées en deux temps. Le premier temps visait la reconstruction du cours d'expérience de chacun des partenaires et leur synchronisation. Ces analyses étaient susceptibles de rendre compte à chaque instant du match de la façon dont les joueurs construisaient des significations en situation, tout en ancrant cette activité signifiante dans la façon dont l'histoire passée de leur couplage structurel leur apparaissait à cet instant. La notion d'*élément de connaissance* renvoie à ces expériences signifiantes sédimentées et servant l'interprétation du jeu à un instant *t*. Le deuxième temps, plus ciblé, a permis d'identifier des traits de similarité entre les éléments de connaissance mobilisés dans les activités des membres de l'équipe. Ces éléments de connaissance, dits « partagés », ont été ensuite analysés au regard de la dynamique d'apparition/modification/disparition de ces traits de similarité dans la temporalité du match.

RESULTATS. Les résultats ont été construits sur l'analyse de 47 éléments de connaissance repérés comme étant partagés par au moins deux partenaires. Ils montrent que, sur ces éléments de connaissance partagés, plus de la moitié d'entre eux étaient partagés par seulement deux ou trois

partenaires, et une part infime était partagée par l'ensemble des joueurs. Ensuite, le contenu expérientiel de ces éléments de connaissance relevait de cinq catégories, renvoyant alternativement aux caractéristiques des partenaires (pour les deux tiers des occurrences), au fonctionnement de sa propre équipe, aux caractéristiques des adversaires, au fonctionnement de l'équipe adverse, et aux conditions de jeu. Finalement, l'analyse de l'évolution de ces éléments de connaissance partagés a permis d'identifier quatre formes caractéristiques d'évolution de ces éléments de connaissance partagés : *i)* l'augmentation de la fiabilité d'un élément de connaissance partagé, *ii)* la création d'un nouvel élément de connaissance partagé, *iii)* l'invalidation d'un élément de connaissance partagé, et *iv)* la fragmentation d'un élément de connaissance partagé (Figure 9).

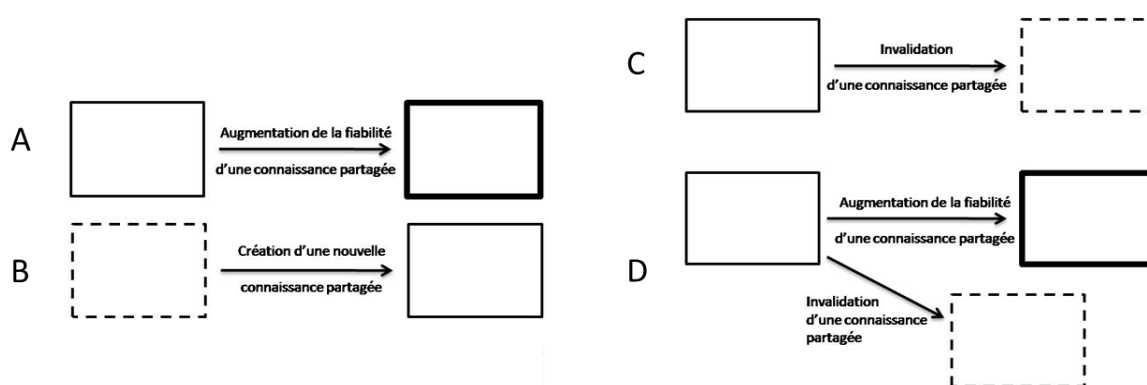


Figure 9 : Schématisation de quatre formes d'évolution du partage de connaissances. A est une connaissance partagée.

9A. Augmentation de la fiabilité d'une connaissance partagée; **9B.** Création d'une nouvelle connaissance partagée ;

9C. Invalidation d'une connaissance partagée; **9D.** Fragmentation d'une connaissance partagée

La forme *augmentation de la fiabilité d'un élément de connaissance partagé* (Figure 9A) rendait compte de l'évolution suivante : des éléments de connaissances partagés construits par les participants avant le match étaient « renforcés » au cours du match chez chacun des joueurs concernés. Autrement dit le caractère organisateur et fiable de cette expérience passée sédimentée (i.e., la force de conviction associée au caractère pertinent de cette expérience passée pour interpréter la situation actuelle) était plus importante après le match que ce qu'elle était avant le match pour chacun des joueurs. Cette forme d'évolution a été la plus prévalente au cours du match (i.e., proche de la moitié des formes d'évolution observées). La forme *création d'un nouvel élément de connaissance partagé* (Figure 9B) rendait compte de nouveaux éléments de connaissance partagés qui s'étaient construits au cours du match dans l'activité de certains joueurs, et constituait plus d'un quart des formes d'évolution observées. La forme *invalidation d'un élément de connaissance partagé* (Figure 9C) rendait compte d'éléments de connaissances partagés construits avant le match qui étaient progressivement invalidés au cours du match par chacun des joueurs

concernés. Autrement dit, les joueurs constataient chacun que leurs expériences passées étaient peu propices à comprendre l'évolution du jeu, et réduisaient de la sorte progressivement la confiance qu'ils accordaient à cet élément de connaissance au cours du match (plus ou moins rapidement selon les joueurs), jusqu'à ce que ces expériences passées ne servent plus du tout d'ancrage à leur activité située. Finalement, la forme *fragmentation d'un élément de connaissance partagé* (Figure 9D) rendait compte d'éléments de connaissance construits avant le match, et qui connaissaient, au cours du match, un « devenir » différent selon les joueurs : certains joueurs augmentaient la confiance qu'ils avaient dans l'élément de connaissance, d'autres la diminuaient, et d'autres l'invalidaient, conduisant les joueurs à mobiliser leurs expériences passées partagées de façon différente. Même si cette forme d'évolution n'a été observée qu'une seule fois, elle était tout à fait repérable et caractéristique. De façon intéressante, aucune communication verbale relative à l'un de ces éléments de connaissance partagé n'a été observée dans l'activité collective étudiée, ne faisant pas de ces communications un élément explicatif des trajectoires observées.

APPORTS EMPIRIQUES A LA COMPREHENSION DU FONCTIONNEMENT DES EQUIPES SPORTIVES.

Relativement à la littérature portant sur la cognition collective, cette étude a apporté plusieurs éléments. Tout d'abord, elle a continué de questionner une conception du partage cognitif conçu uniquement en termes de similarité parfaite entre tous les membres. Appliquée à la notion de connaissances partagées, ce modèle du partage (i.e., modèle de la *fleur*) conduit à proposer des exigences très fortes relativement aux conditions préalables à une bonne coordination interpersonnelle : les membres devraient tous posséder (et être capables de mobiliser) un grand nombre d'expériences partagées, devant leur permettre d'interpréter la situation de façon similaire, et en conséquence sélectionner les mêmes stratégies d'action collective (Cannon-Bowers et al., 1993). En pointant que les éléments de connaissance mobilisés par les joueurs pour interpréter le déroulement du jeu étaient peu partagés (i.e., par très peu de joueurs), notre étude continue d'argumenter dans le sens du modèle de la *chaîne* (i.e., zones locales de partage s'imbriquant entre elles) comme rendant bien compte de nos observations empiriques. Ensuite, nos résultats soutiennent l'importance d'intégrer une vision temporelle dans l'analyse de ces phénomènes de partage cognitif, dans la mesure où les phénomènes de convergence et divergence observés entre les activités individuelles laissent apparaître une cohérence collective qui ne se réduit pas à l'analyse statique du partage des contenus expérientiels. En effet, si les membres actualisaient leurs référentiels respectifs dans la dynamique du jeu, ils le faisaient majoritairement de façon convergente (i.e., sans communications verbales dirigées vers ces modalités d'actualisation). Nous reviendrons sur les enjeux de ces descriptions temporelles avec l'analyse dynamique des modèles de la *fleur* et de la *chaîne* par l'analyse des réseaux sociaux (Bourbousson et al., 2015). Finalement, ces

résultats ont illustré le caractère dynamique et changeant des connaissances des membres, signant un processus d'adaptation individuelle et subséquemment collective. Ce caractère fluctuant des connaissances partagées a depuis été repris et porté comme un axe majeur de développement des travaux relatifs à la cognition collective (Uitdewilligen, Waller, & Pitariu, 2013).

APPORTS AU DEVELOPPEMENT D'UNE APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX. Notre étude a pointé que le contenu subjectif des expériences sédimentées utiles à la compréhension du décours du jeu renvoyait essentiellement à l'équipe elle-même et à son fonctionnement (e.g., caractéristiques des partenaires), et finalement peu aux caractéristiques de leur environnement (e.g., les adversaires). De la sorte, nous avons argumenté que cette prévalence des expériences relatives à l'équipe elle-même puisse signer une forme de définition par l'intérieur des événements de jeu utiles à la compréhension du match par les joueurs. L'équipe, par l'activité de ses membres, projette sur le match sa propre perspective qu'elle tente ensuite d'actualiser au gré des événements et perturbations. Ainsi, ces résultats, en même temps qu'ils illustrent d'une certaine manière la façon dont fonctionne la phénoménologie de l'équipe, viennent questionner les fondements des approches classiques relatives à la *situation awareness* (Endsley, 1995). En effet, ancré dans la tradition computationnaliste, le paradigme dominant de description de la *situation awareness* dans les équipes considère que la perspective avec laquelle les acteurs appréhendent le monde est plus ou moins adéquate (i.e., *accurate*) à la réalité environnementale dans laquelle ils évoluent. De cette manière, cette conception de la *situation awareness* inclut *de facto* un présupposé 'réaliste' (voir Varela et al., 1993 pour plus de précision sur l'ontologie réaliste), assumant qu'il est possible de définir de l'extérieur ce qu'il est bon de prendre comme information, sans considération pour la logique intrinsèque autonome de l'activité en train de se construire dans ledit environnement (Froese & Di Paolo, 2011). Ces approches ont été caractérisées par ailleurs comme relevant d'une vue externaliste de la cognition collective (Uitdewilligen et al., 2010), à la différence des approches, moins nombreuses mais requises, relevant d'un internalisme de la cognition collective. C'est à cette deuxième approche que l'approche énative des couplages sociaux peut contribuer, et que la présente étude illustre empiriquement.

CONCLUSIONS. Cette étude clôt les travaux visant une analyse qualitative du partage d'une perspective subjective commune par les partenaires d'une même équipe au cours de leur activité collective. Ces études ont ciblé l'analyse du niveau de l'activité qui est significatif pour les acteurs (i.e., la compréhension de leur vécu). A la suite des études précédentes, l'étude des éléments de connaissance mobilisés pour interpréter le jeu contribue à suggérer la pertinence de débattre autour

des modélisations du partage cognitif, et oriente plutôt les hypothèses en direction d'un modèle principal proche du modèle distribué de la *chaîne*, en alternance ponctuelle avec le modèle de la *fleur*. Toutefois, comme l'étude relative au partage de préoccupations, elle suggère que la description temporelle des phénomènes de partage cognitif est susceptible de révéler des convergences entre les activités individuelles plus importantes que ne les dévoilent les analyses statiques ou synthétiques de ce partage cognitif. Cette approche va maintenant être étendue en direction d'une modélisation plus mathématique et d'une approche multi-niveaux qui permettra de rediscuter de ces modèles de partage cognitif et de venir préciser les modalités de leur occurrence dans le déroulement de l'activité. Ensuite, dans la mesure où cette approche subjective ne dit rien des phénomènes plus « implicites » de l'activité (i.e., non significatifs pour les acteurs), elle sera complétée en direction d'un croisement des descriptions en première et troisième personne dans les lignes de recherche conduites actuellement (voir Partie 4, Chapitre 1 pour ces développements).

PARTIE 3 - CHAPITRE 3

LES MECANISMES MULTI-NIVEAUX FAÇONNANT L'AUTONOMIE DES

COUPLAGES SOCIAUX



Pour avancer dans ce qu’implique une conception de l’autonomie des couplages sociaux, nous avons précisé (i.e., Partie 2) qu’à la différence de nombreux systèmes physiques, les humains étaient susceptibles d’être affectés pas la dynamique même de leur coordination, conduisant à ce que les patterns émergents de coordination puissent influencer l’engagement en cours des protagonistes. Autrement dit, dans un système social caractérisé par une certaine autonomie de son couplage structurel, les acteurs sont susceptibles d’être affectés par les produits collectifs qu’ils font émerger à un niveau macroscopique d’organisation, faisant ainsi des phénomènes de causalité descendante des signatures intéressantes de cette autonomie. C’est dans cette perspective que la première étude introduite ici observe dans quelle mesure des événements se produisant au niveau de la coordination globale produite peuvent contraindre/gouverner l’activité individuelle locale des protagonistes.

Ensuite, parce qu’il contribue à l’activité du système social, l’individu est engagé dans le processus auto-organisé de constitution de l’unité sociale autonome. Ainsi, il est le jeu non seulement d’un mouvement de causalité descendante, mais également impliqué dans le mouvement ascendant qui fait que la construction pas à pas de la dynamique d’articulation influence les caractéristiques de la coordination à des niveaux supérieurs d’organisation. La deuxième étude introduite ici permet la description de ce type de phénomène.

Lorsque cette double influence est en place (de la dynamique locale vers une coordination de niveau supérieur, et inversement), alors sont rassemblées des signatures d’un couplage social autonome qui délimite le cadre et les formes d’expression des activités individuelles et de leurs interactions. Pour être décrits, ces phénomènes de flux ascendant et/ou descendant demandent de pouvoir multiplier les niveaux d’analyse, mais également de pouvoir identifier et caractériser des interférences entre ces niveaux. C’est cette articulation des niveaux d’analyse que recouvre l’appellation d’une *approche multi-niveaux* (e.g., Cooke et al., 2013a ; Humphrey & Aime, 2014 ; Kozlowski et al., 2013).

Les deux études synthétisées ici mobilisent alternativement une approche comportementale et une approche phénoménologique. Elles explorent toutes deux les possibilités d’une description des interférences entre les niveaux d’organisation de l’activité collective, concrétisant de la sorte l’heuristique d’une approche multi-niveaux.

INTERFERENCES ENTRE NIVEAUX D’ORGANISATION DE L’ACTIVITE COLLECTIVE : APPROCHE MULTI-NIVEAUX DES PHENOMENES SPATIOTEMPORELS

ENJEUX. Cette étude a mobilisé les outils construits dans les études précédentes permettant de capturer la dynamique comportementale de la coordination interpersonnelle en condition réelle (i.e., métriques collectives, variables collectives). A partir de ces outils, l'enjeu de cette étude était de décrire le niveau de contraintes pertinent pour rendre compte de la dynamique des activités individuelles (Bourbousson et al., 2014b) : dans quelle mesure l'activité individuelle s'ancre-t-elle dans un domaine de perturbations relevant d'un niveau d'organisation plutôt local ou global ? Autrement dit : dans quelle mesure la dynamique collective d'activité que l'individu contribue à construire vient contraindre le déroulement de son activité ou bien celle-ci ne reste-elle sensible qu'à son niveau local de contraintes (e.g., son espace proche) ?

METHODES. L'étude a été conduite à partir de données de trajectographie. Un match professionnel de basketball a été pour cela l'objet d'une procédure de capture/numérisation des déplacements des joueurs. A partir des positions de l'ensemble des joueurs du match à chaque instant, un échantillon de données a été spécifié autour d'une activité individuelle typique caractéristique du jeu (i.e., le *drive*). Dans un premier temps, les occurrences de *drive* se produisant dans le jeu ont été identifiées (i.e., départ en dribble franc et soudain du joueur porteur de balle en direction du panier). A partir de ces occurrences, les trois secondes de jeu le précédant et lui succédant ont été systématiquement extraites. De la sorte, chaque séquence traitée durait six secondes, se constituait de dix séries temporelles initiales (i.e., les 10 trajectoires des joueurs présents sur le terrain), et incluait un *drive* en son centre. Sur la base de ce corpus de données, les traitements ont consisté à calculer pour chaque séquence de jeu un certain nombre d'indicateurs, tels que : les coordinations dyadiques attaquants-défenseurs (i.e., à partir d'une mesure de phase relative) ; la dynamique du centre de gravité de chaque équipe, la dynamique de leurs indices d'étirement, et leur coordinations respectives (e.g., phase relative entre les centres de gravité, indice d'étirement relatif). Ensuite, considérant que le déclenchement des *drives* pouvait être contraint par l'un de ces niveaux d'organisation de l'activité, une analyse de variabilité intra-niveau a été conduite pour identifier le niveau d'organisation susceptible d'expliquer la dynamique de l'activité individuelle.

RESULTATS. Les résultats ont montré que le déclenchement d'un *drive* n'était pas significativement précédé par une perturbation de la relation attaquant-défenseur dans laquelle s'inscrivait l'activité individuelle du porteur de balle (i.e., niveau local d'ajustement). Cependant, les résultats ont montré que des variations significatives dans la dynamique des contraintes collectives (i.e., macroscopiques) étaient susceptibles d'expliquer l'initiation de ladite activité (Figure 10). Ces

variations de haut-niveau (i.e., haut-niveau d'organisation du système social) étaient observables dans les indicateurs d'étirement relatif et de coordination des centres de gravité des équipes. Autrement dit, l'activité individuelle de déclenchement d'un drive était ancrée dans une déstabilisation des formes collectives émergeant de la coordination des activités individuelles.

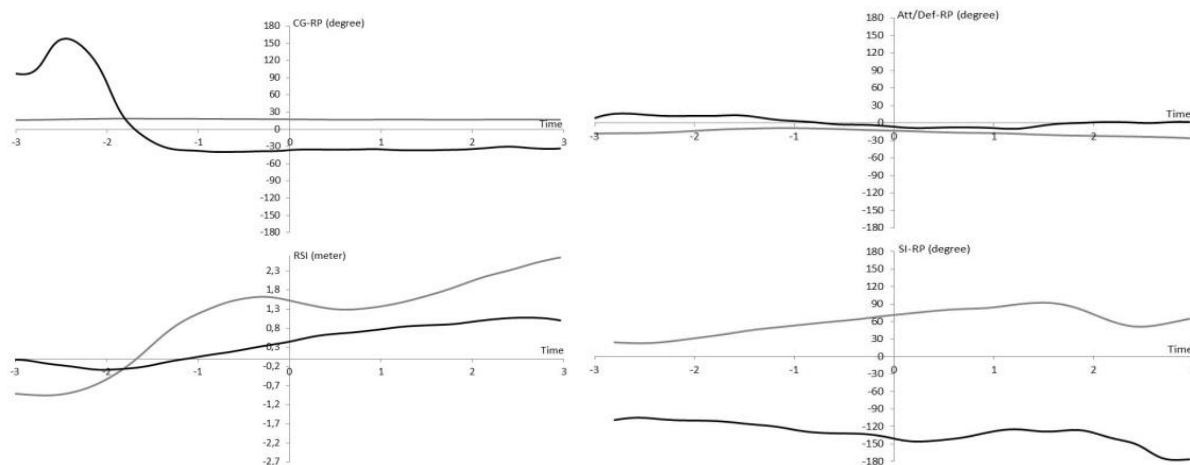


Figure 10. Séquence typique d'une séquence de drive. Dans l'ordre apparaissent les variations de la phase relative entre les déplacements des deux centres de gravité des équipes, l'indice d'étirement relatif, la phase relative entre les déplacements du porteur de balle et son défenseur direct, et la phase relative entre les deux indices d'étirement des équipes. Les courbes grises renseignent les déplacements latéraux, les courbes noires les déplacements longitudinaux.

APPORTS EMPIRIQUES A LA COMPREHENSION DU FONCTIONNEMENT DES EQUIPES SPORTIVES.

Relativement aux apports à l'analyse de l'activité collective en sport, cette étude a illustré l'intérêt d'une considération simultanée de plusieurs niveaux d'analyse, ainsi que l'analyse de leurs interférences. Par exemple, pour ce qui est du cas concret du drive en basketball, les études préalables avaient cherché dans la relation attaquant-défenseur les facteurs de son déclenchement (e.g., Esteves, Oliveira, & Araujo, 2012). Indépendamment des résultats fournis par ces études (e.g., rôle de la position du pied du défenseur ou de la distance interpersonnelle), il est à noter que les auteurs présupposent que le niveau d'organisation pertinent pour éclairer la dynamique de l'activité individuelle est le niveau des interactions interindividuelles dyadiques. Or, si les partenaires et adversaires se coordonnant contribuent à construire ensemble la dynamique collective du jeu, alors ils sont susceptibles d'être le jeu de contraintes variées relevant de différents niveaux d'organisation du système social. Cette étude a permis d'insister sur la nature multi-niveaux des contraintes informationnelles qui supportent les activités individuelles de coordination, et a suggéré de prendre certaines précautions quant à l'interprétation des résultats issus d'études conduites à partir d'un seul niveau d'analyse du jeu de contraintes.

APPORTS AU DEVELOPPEMENT D’UNE APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX. Ensuite, concernant les apports de cette étude au développement d’une approche éactive des couplages sociaux, le premier intérêt est méthodologique. Cette étude accrédite l’intérêt de l’utilisation d’une méthode d’échantillonnage des données centré sur la dynamique de l’activité individuelle (i.e., le drive) et intégrant avec elle des données multiples éclairant les autres niveaux d’organisation de l’unité sociale dans laquelle s’insère l’activité individuelle. Le deuxième intérêt réside dans les résultats obtenus. En montrant que l’activité individuelle s’organisait de façon prépondérante en relation avec des contraintes collectives (qu’elle contribuait à générer), notre étude a ainsi initié une voie de description des phénomènes de causalité descendante. Comme détaillé dans notre partie d’épistémologie générale des couplages sociaux, ces phénomènes sont la marque d’un système social manifestant une certaine autonomie. De la sorte, cette étude contribue à crédibiliser l’étude des équipes sportives comme systèmes complexes, adaptatifs et autonomes (Arrow et al., 2000).

CONCLUSIONS. Dans la mesure où un système autonome se caractérise par l’émergence de formes stables d’interaction entre ses composants à différents niveaux d’organisation, tout en évitant dans le même temps une appréhension du système à un niveau exclusivement local, global ou juxtaposant ces niveaux dans une perspective agrégative, cette première étude a développé une approche multi-niveaux centrée sur la compréhension de l’activité individuelle insérée dans le système social qu’elle contribue à construire. Sans les garantir, cette approche était susceptible de révéler l’existence de phénomènes descendants, effets *top-down* ou de causalité descendante (*downward causality*), par lesquels la dynamique des patterns de haut-niveau vient contraindre/façonner la dynamique des événements de bas niveau. Toutefois, l’approche développée ici n’était pas suffisamment ouverte sur l’ensemble des interférences inter-niveaux observables (e.g., mouvements ascendants), et est plus difficile à concrétiser dans le cadre de l’analyse de données phénoménologiques. L’étude suivante visait ainsi à explorer d’autres possibilités de descriptions multi-niveaux.

INTERFERENCES ENTRE NIVEAUX D’ORGANISATION DE L’ACTIVITE COLLECTIVE : APPROCHE MULTI-NIVEAUX DES PHENOMENES INTERSUBJECTIFS

ENJEUX. Dans l’optique d’un développement de méthodes susceptibles de fournir des descriptions multi-niveaux, l’étude que nous détaillons maintenant a focalisé son investigation sur l’expérience vécue des participants lors de leurs interactions (Bourbousson et al., 2015). Ici, nous

avons exploré le potentiel des analyses de type *Social Network Analysis* (SNA) (Wasserman & Faust, 1994) pour fournir, comme nous l'avons fait pour le traitement des données de trajectoire, des indicateurs rendant compte des coordinations à différents niveaux d'analyse : e.g., individuel, dyadique, triadique, équipe (Bourbousson et al., 2014a). Ensuite, une fois ces indicateurs sélectionnés et construits à partir des données subjectives, nous avons mobilisé des outils de l'analyse des séries temporelles pour appréhender les interférences entre les niveaux d'analyse.

De façon intéressante, plutôt que de se centrer sur les attributs individuels d'acteurs supposés indépendants, la perspective des réseaux sociaux (i.e., SNA) considère que les propriétés de l'unité sociale (i.e., le réseau) émergent des processus relationnels dont on essaie de rendre compte. Ainsi cette perspective s'attache à décrire plusieurs sortes de propriétés des réseaux sociaux : les propriétés collectives de l'unité sociale, les propriétés du système relationnel interindividuel, et les propriétés interactionnelles individuelles des acteurs insérés dans cette unité sociale (tout en considérant que ces niveaux d'analyse ne sont pas mutuellement exclusifs). Dans le cadre de l'analyse de ces réseaux, les liens unissant les acteurs peuvent être toutes sortes de relations. Nous avons pour notre part investigué des liens cognitifs unissant les acteurs, sous la forme de « qui prend en compte qui pour agir à un instant donné ? ». Ce ciblage sur une relation cognitive réduite met à jour certains aspects de l'interaction sociale, supposés pouvoir s'exprimer en termes de patterns, c'est-à-dire de régularités. Ces patterns (objets de l'analyse), une fois identifiés, rendent compte de la manière dont les activités individuelles des membres s'articulent (i.e., se réticulent) pour donner lieu à leur activité collective et ses propriétés. La SNA peut être utilisée pour rendre compte à un instant donné d'un réseau d'interactions, ou bien dans notre cas pour étudier le processus de changement des patterns d'interaction au sein d'un collectif au fil du temps (i.e., réseaux longitudinaux). Dans sa formalisation de cette approche, Wellman (1988) précise que l'analyse des réseaux sociaux considère l'activité collective comme auto-organisée, émergente, complexe, de sorte que les propriétés globales qui apparaissent au niveau macroscopique d'observation émergent des interactions locales des acteurs qui le composent. Ce réseau de relations agit également comme un environnement pour les acteurs, et de cette manière constitue aussi leur espace de contraintes et de ressources.

METHODES. Les membres de deux équipes de basketball distinctes ont été volontaires pour participer à l'étude. Leur activité respective a été étudiée en condition réelle de jeu. La première équipe (experte, Equipe E) évoluait dans le plus haut niveau de pratique du championnat de France Cadets. La deuxième équipe (novice, Equipe N) évoluait au niveau départemental (niveau de pratique le plus faible de cette même catégorie d'âge). Ces deux cas contrastés ont été retenus pour explorer la capacité des analyses de type SNA à discriminer les propriétés de l'activité collective de ces deux

équipes. A partir de leur match de basketball filmé, cinq entretiens d'autoconfrontation individuels ont été réalisés avec les joueurs présents sur le terrain au cours des dix premières minutes de jeu pour l'équipe E, et des huit premières minutes de jeu pour l'Equipe N. Une analyse sémiologique détaillée a été réalisée en référence au programme de recherche du cours d'action visant à documenter la dynamique d'engendrement pas à pas de leur expérience vécue (i.e., construction et articulation des cours d'expérience), permettant de reconstruire 251 articulations de cours d'expérience pour l'Equipe E, et 212 articulations de cours d'expérience pour l'Equipe N. Le Tableau 1 illustre le compte-rendu de cette analyse sémiologique, obtenu à un instant donné (i.e., une articulation de cours d'expérience) pour l'Equipe E.

A partir de cette étape, nous avons conduit ce que nous avons appelé une *réticulation de l'articulation des cours d'expérience* (Bourbousson et al., 2014a), c'est-à-dire la construction d'un réseau rendant compte de la manière dont les activités individuelles se connectent à un instant donné pour chaque équipe (i.e., chaque articulation de cours d'expérience constituait une unité de réseau). Les nœuds étaient les partenaires et la variable relationnelle retenue était « Qui prend en compte qui pour agir à un instant donné ? ». Cette analyse a conduit à identifier les liens cognitifs dirigés (i.e., ayant un émetteur et un receveur), d'une façon dichotomique (i.e., en relation avec deux « états » possibles : présent/absent). La Figure 11 illustre la matrice et le réseau obtenus à partir de la réticulation des données présentées dans le Tableau 1. Une matrice est construite pour rendre compte de l'activité collective de chaque instant (i.e., chaque articulation des cours d'expérience). 251 matrices s'enchaînant dynamiquement ont été construites pour l'Equipe E, et 212 matrices pour l'Equipe N. Chaque matrice a été l'objet d'un traitement spécifique, sur la base du calcul de certains indicateurs issus des outils de la SNA, permettant de rendre compte des différents niveaux d'organisation de l'activité collective.

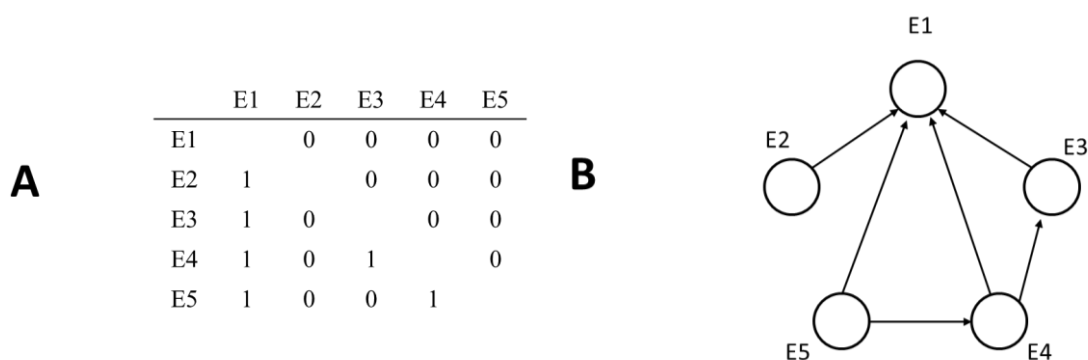


Figure 1. 11A. Matrice obtenue à partir de l'unité d'articulation des cours d'expérience présentée dans le Tableau 1.

11B. Réseau obtenu à partir de la matrice précédente.

Trois grandes catégories d'indicateurs ont été retenues. Premièrement, l'étude a visé une description du niveau individuel d'analyse, rendant compte au niveau microscopique de la position

particulière des acteurs dans le réseau. La *centralité de degré* quantifiait l'importance d'un acteur dans le réseau sur la base de son degré nodal, c'est-à-dire la taille de son réseau personnel. Les liens sortants (*Outdegree centrality*) et les liens entrants (*Indegree centrality*) ont été considérés pour calculer ces indicateurs. La *centralité d'intermédiation* (*Betweenness centrality*) quantifiait l'importance d'un acteur dans le réseau à partir de l'identification de son rôle de « connecteur ». L'acteur était central s'il reliait souvent deux autres acteurs, c'est-à-dire se positionnait comme un intermédiaire important dans la connectivité du réseau.

Deuxièmement, l'étude a visé une description d'un niveau mésoscopique d'organisation à partir des caractéristiques triadiques et dyadiques des interactions. Les indicateurs retenus à ce niveau d'analyse caractérisaient la manière dont les triades et dyades étaient connectées. La *réciprocité* du réseau a été calculée à partir de la quantité de liens bidirectionnels observés dans le réseau et rendait compte du caractère mutuel des couplages dyadiques. La *transitivité* a été calculée à partir de la tendance, dans le réseau, à ce que deux acteurs avec qui un membre est connecté soient aussi connectés entre eux. Autrement dit, cet indicateur décrivait la tendance à ce que les relations se « bouclent », et ne se ramifient pas en chaînes séparées. A ce niveau d'analyse, les liens préférentiels entre les membres ont également été caractérisés (i.e., qui a tendance à se connecter avec qui ?).

Troisièmement, l'étude a visé une description des caractéristiques globales de l'ensemble du réseau, traduisant un niveau macroscopique d'analyse. Les indicateurs retenus à ce niveau d'analyse caractérisaient dans quelle mesure le réseau observé était plutôt dense, ou centralisé. La *densité* du réseau était obtenue à partir de la quantité des connections reliant les acteurs du réseau, normalisée en fonction du nombre total de liens potentiels dans le réseau. La *centralisation* du réseau permettait la description du caractère homogène/hétérogène du réseau étudié. Elle était calculée à partir de la variance des degrés de centralité individuels (et ce en respect du type de centralité considérée ; e.g., *Indegree*, *Oudegree*, *Betweenness centrality*).

L'ensemble de ces indicateurs a été calculé pour chacune des 251 matrices de l'Equipe E, et pour chacune des 212 matrices de l'Equipe N. La significativité de ces indicateurs a été calculée à partir de la comparaison des valeurs obtenues avec les valeurs attendues générées à partir de modèles de graphes aléatoires (voir Bourbousson et al., 2015 pour plus de détails). Ce recours à la simulation mathématique de la population supposée contenir notre échantillon permettait de dépasser le caractère descriptif des études que nous avons menées jusqu'à présent dans l'analyse de la subjectivité en direction d'analyses inférentielles estimant la probabilité associée à nos observations.

Ensuite, afin d'observer l'évolution des patterns, les indicateurs ont été dynamisés : les séries de matrices ont été traitées longitudinalement qui, une fois passées au filtre des indicateurs étaient

des séries temporelles (Figure 12). Chaque valeur d'indicateur renvoyait à la description d'une articulation de cours d'expérience. Une série temporelle de valeurs renvoyait à la dynamique d'enchaînement des articulations de cours d'expérience.

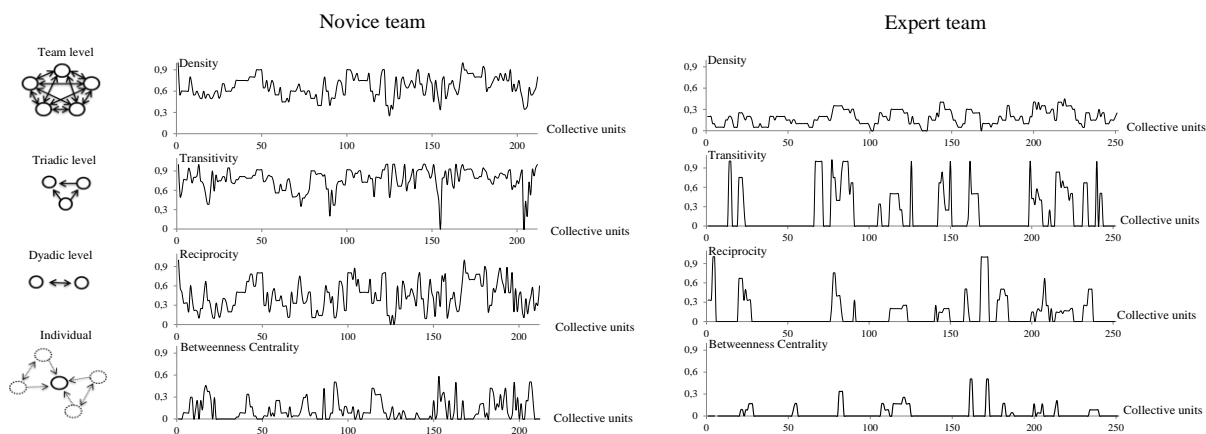


Figure 12 : Illustration des séries temporelles obtenues pour les différents niveaux d'organisation de l'activité collective dont ils témoignent (à partir de Bourbousson et al., 2015).

Ensuite, afin d'appréhender les relations entre les niveaux d'organisation de l'activité collective, les outils issus des analyses de séries temporelles ont été retenus. Les relations de co-variation entre deux indicateurs (i.e., renvoyant à deux niveaux d'analyse différents) ont été analysées à partir de coefficients de corrélation, et de cross-corrélation. Ces cross-corrélations permettent de pointer l'existence éventuelle d'un flux, d'un mouvement décalé dans le temps de diffusion des variations d'une série temporelle vers une autre. Pour notre objet, une co-variation de deux niveaux d'analyse incluant un retard temporel d'un des deux niveaux d'organisation a été considéré comme témoignant d'un flux entre les niveaux, et donc d'un mouvement ascendant ou descendant selon le sens de cette relation.

Une dernière analyse a été menée qui visait à caractériser les relations entre l'indicateur de densité (niveau macroscopique) et celui de transitivité (niveau mésoscopique) à partir de mesures de corrélations fenêtrées. La relation spécifique entre ces deux indicateurs a été considérée comme décrivant bien les processus d'organisation de l'activité collective, dans la mesure où son analyse permettait de caractériser si le réseau se construisait dynamiquement à partir du modèle de la *fleur*, d'un modèle de la *chaîne* (Figures 6 et 8, voir texte associé pour plus de détail sur les ressorts de ces modèles), ou d'un enchaînement dynamique de ces modèles. A titre explicatif, la Figure 12 décrit ce dont témoigne l'étude des relations entre ces deux niveaux d'organisation (i.e., densité/transitivité).

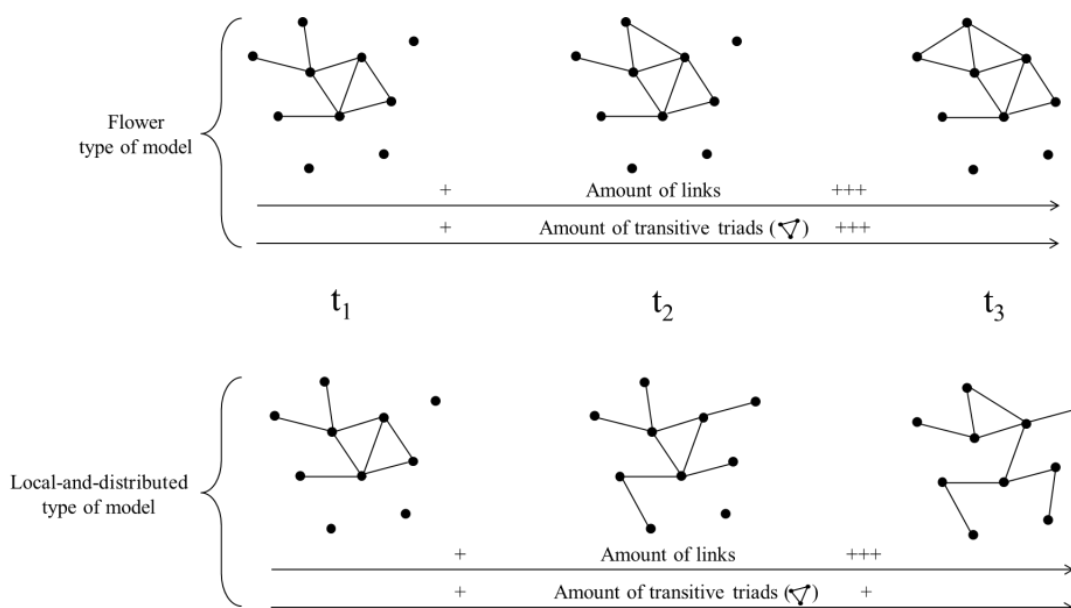


Figure 12 : Illustration de la manière dont la densité et la transitivité peuvent évoluer simultanément dans un réseau, au regard du modèle de la fleur pour le panel du haut, et au regard du modèle de la chaîne pour le panel du bas (à partir de Bourbousson et al., 2015).

RESULTATS. A partir de ces analyses, les résultats ont été synthétisés en deux principaux points. Premièrement, cette étude a fourni des résultats relatifs à la manière dont les interactions étaient respectivement structurées dans l'activité collective de chacune des équipes. Au niveau microscopique d'analyse, les membres de l'équipe N ne témoignaient pas d'une activité caractéristique, sauf un joueur qui « émettait » significativement beaucoup plus de liens cognitifs que ses partenaires. Les membres de l'équipe E, eux, témoignaient tous d'un degré de connectivité significativement faible (peu de liens cognitifs sortants)³. Au niveau mésoscopique d'analyse, l'équipe E témoignait d'un degré de réciprocité des liens inter-membres significativement faible, et deux relations inter-membres étaient significativement fortes en direction du même partenaire (i.e., le meneur de jeu). Au niveau macroscopique d'analyse, l'équipe E se caractérisait par une densité significativement faible, alors que l'équipe N témoignait d'une densité particulièrement forte. Aucune des équipes n'était particulièrement centralisée, signant une organisation collective relativement homogène au sein des équipes.

Deuxièmement, cette étude a fourni des résultats relatifs aux liens entre les niveaux d'organisation de l'activité collective. Des relations variées entre les différentes paires d'indicateurs ont été pointées. L'essentiel de ces relations étaient spécifiques à chaque équipe, sauf une qui témoignait d'un pattern de relation inter-niveaux commun aux deux équipes : l'indicateur de

³ La description d'une valeur significativement « faible » ou « forte » pour une équipe donnée signifie que cette valeur est significativement plus faible que celle attendue dans la population parente (i.e., réseaux de cinq membres simulés à partir de graphes aléatoires contraints par la densité). Aucune comparaison statistique n'a été réalisée entre les équipes.

réciprocité variait dans le même sens mais en amont de l'indicateur de transitivité, signant un flux allant du niveau dyadique d'organisation vers le niveau triadique d'organisation.

Ensuite, l'analyse spécifique des relations entre la densité et la transitivité a montré que ces deux indicateurs co-variaient pour l'essentiel du temps d'activité traité (i.e., renvoyant aux présupposés du modèle de la *fleur*), et ce chez chacune des équipes. La stabilité de cette relation était parfois brisée (i.e., laissant apparaître le modèle de la *chaîne* à quelques occasions), entraînant une certaine variabilité autour de la relation de référence, cette variabilité étant plus marquée dans l'équipe N que dans l'équipe E (Figure 13).

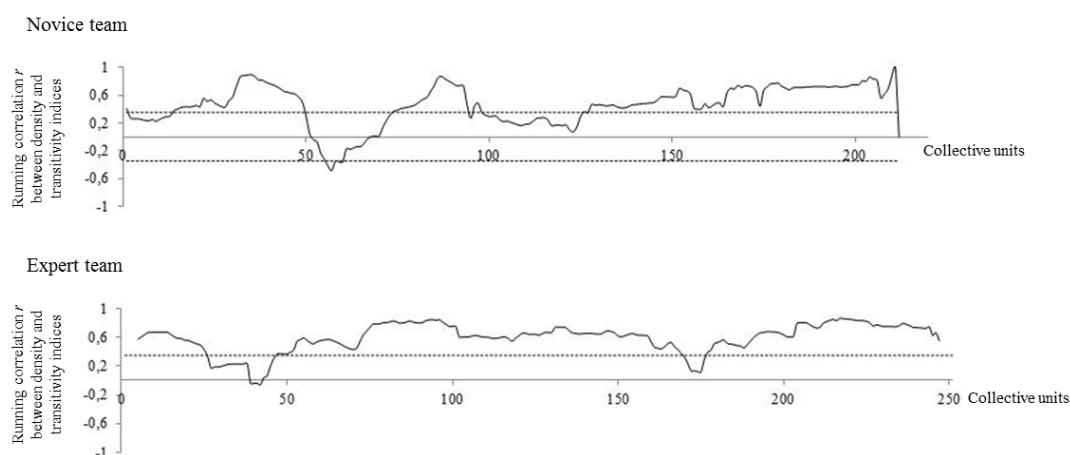


Figure 13 : Corrélations fenêtrées entre les indicateurs de densité et de transitivité au cours de la séquence de jeu étudiée, pour les équipes N (Novice team) en haut, et E (Expert team), en bas (à partir de Bourbousson et al., 2015).

APPORTS EMPIRIQUES A LA COMPREHENSION DU FONCTIONNEMENT DES EQUIPES SPORTIVES. Au regard de la littérature relative aux ressorts de l'activité collective, notre étude a tout d'abord suggéré la valeur heuristique de la méthodologie (i.e., SNA) pour extraire des patterns d'interaction à différents niveaux d'analyse, et discriminer le fonctionnement des équipes étudiées. A ce titre, l'équipe experte est apparue comme fonctionnant sur la base d'un réseau de liens cognitifs à densité faible, non-centralisé, dans lequel les liens sont faiblement réciproques, et organisé autour de deux liens de coordination préférentiels. L'équipe novice, pour sa part, est apparue comme fonctionnant sur la base d'un réseau particulièrement dense, dans lequel un membre se démarque par son activité de régulation fortement orientée vers la prise en compte d'un grand nombre de partenaires. Ensuite, cette étude apporte des éléments non-négligeables de discussion des modèles de l'interconnectivité à l'œuvre dans l'activité collective située (i.e., modèles de la *fleur* et de la *chaîne*). A la différence de l'analyse synthétique compilant l'ensemble des réseaux, l'analyse temporelle ciblée sur la manière dont se construisent et déconstruisent les liens cognitifs de coordination à différents niveaux d'organisation (i.e., relation entre les niveaux méso- et macro-scopiques) a permis d'argumenter

fortement en direction du modèle de la *fleur* comme étant organisateur du système social. De la sorte, notre étude a pointé combien une équipe faiblement connectée (i.e., l'équipe experte) pouvait tout de même exhiber les signatures du modèle de la *fleur*, pourtant basé sur la densité et le bouclage des liens de coordination : la clé de cette observation résidait dans le fait que ledit modèle de la *fleur* se réalisait dynamiquement dans l'engendrement de l'activité collective, le rendant difficile à capturer par les analyses synthétiques. De la sorte, la mobilisation de l'analyse des réseaux sociaux vient largement contrebalancer les hypothèses que nous avons nous-mêmes formulées à propos de ces mêmes modèles (i.e., à partir des méthodes qualitatives et compréhensives d'analyse de l'activité), dans la mesure où nous avons plusieurs fois suggéré que le modèle de la *chaîne* semblait organisateur de l'activité collective en basketball (e.g., Bourbousson et al., 2010, 2011, 2012)⁴.

APPORTS AU DEVELOPPEMENT D'UNE APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX. Concernant les apports de cette étude au développement d'une approche énaïve des couplages sociaux, deux éléments principaux méritent d'être discutés. Le premier est relatif à l'observation d'interférences entre les niveaux d'organisation de l'activité collective. Le second est relatif à l'identification d'une forme d'affirmation identitaire précaire dans un pattern stable de relations inter-niveaux méso/macrosopiques.

Premièrement, l'observation d'un flux ascendant allant des propriétés des connexions dyadiques vers les propriétés des connexions triadiques suggère l'existence d'un mouvement de causalité ascendante (i.e., *upward causality*) par lequel la dynamique de variation des relations entre composants à un niveau supérieur d'organisation est teintée de la dynamique de variation des relations observée à un niveau inférieur. L'observation de ce type de phénomène d'émergence n'est pas commun dans l'analyse du fonctionnement collectif, puisque souvent mis au rang des postulats et plus rarement visé comme objet de description empirique (Bourbousson et al., 2014a ; Kozlowski et al., 2013). Constituant une des signatures d'un système dynamique, ce type de mouvement ascendant participe à démontrer le caractère possiblement autonome des couplages sociaux. Considéré conjointement avec les phénomènes de causalité descendante, la double influence par laquelle le système social contraint et est contraint par l'articulation des activités individuelles constitue la trace principale d'une *interaction sociale* au sens fort (De Jaegher & Di Paolo, 2007). La structure d'interaction observée n'était pas garantie à chaque instant : elle se produisait tant que les acteurs préservaient mutuellement les formes d'expression de ce couplage social, délimitant de la sorte le cadre et les formes d'expression de leur propre autonomie. En somme, dans le cadre d'une

⁴ Il est notable ici que l'équipe experte (équipe E) analysée dans cette étude avait déjà été l'objet d'un traitement qualitatif ayant conduit à la suggestion du modèle de la chaîne comme organisant l'activité collective (Bourbousson et al., 2012).

épistémologie énaïve, nos observations suggèrent un processus social auto-organisé qui, pour être décrit, requiert l'articulation de niveaux d'analyse différents.

Deuxièmement, l'observation de la relation entre les dynamiques respectivement macroscopique et mésoscopique (i.e., entre la dynamique de l'indicateur de densité et l'indicateur de transitivité) (Figure 13) a pointé de façon intéressante que la nature de cette relation était maintenue stable dans le déroulement de l'activité, sans que l'équipe parvienne totalement à assurer une stabilité absolue ; l'équipe experte parvenait également mieux à maintenir cette stabilité dynamique que l'équipe novice. Pour les deux équipes, cette relation stable était rompue par moments puis retrouvée. Ensemble, ces observations suggèrent que l'équipe tente de maintenir cette relation au gré des perturbations qu'elle rencontre. De la sorte, nous sommes ici en présence d'une forme de loi interne que le système social construit et maintient par son activité, signant l'identité du réseau de relations qui organise le couplage structurel de l'unité sociale. La variabilité associée au maintien de cette relation, signe de la précarité de la clôture opérationnelle des systèmes sociaux (Froese & Di Paolo, 2011), pouvait alternativement témoigner d'adaptations fonctionnelles opérées en contexte pour ajuster un pattern intrinsèque, d'une difficulté à asseoir son identité en contexte fortement perturbé, d'un couplage social rompu de façon transitoire par l'activité autonome de ses membres, ou bien par la survenue de perturbations destructrices ciblées liées aux comportements de l'adversaire. Ainsi, en même temps que cette relation densité/transitivité révèle des phénomènes intéressants pour une approche énaïve, elle suggère que les débats relatifs aux modèles adéquats sous-jacents à l'activité collective (i.e., de la *fleur* ou de la *chaîne*) touchent certainement aux fondements réellement constitutifs de la constitution de l'activité collective (i.e., puisque de la relation entre densité et transitivité peut se déduire le modèle correspondant).

CONCLUSIONS. Cette étude présente une certaine originalité dans le paysage des travaux relatifs aux équipes. Nous avons avancé des pistes de modélisation mathématique de la dynamique de régulation conjointe s'opérant entre les membres, et ce en partant de données phénoménologiques. Ce type de travail n'est pas courant, mais nous semble être une piste fructueuse pour conduire à la fois une description modélisatrice du fonctionnement du système social et maintenir dans le même temps un intérêt pour l'expérience vécue des participants.

Cette étude s'est réalisée moyennant une forte réduction de l'activité des membres. Tout d'abord, l'activité des membres a été réduite à sa part signifiante pour le sujet, et plus précisément à la compréhension du vécu du sujet (i.e., sa conscience préreflexive) obtenue en entretien d'autoconfrontation. Ensuite, les données de conscience préreflexive de chaque acteur ont été analysées à chaque instant pour obtenir une réduction opératoire drastique conduisant à ne retenir du vécu de l'acteur que les partenaires pris en compte pour la conduite de son activité. Cette

réduction drastique des données expérientielles est acceptable pour trois raisons majeures. Premièrement, les données expérientielles ont été entièrement analysées au filtre de la modélisation analytique empirique usuelle dans le programme de recherche du Cours d'action (i.e., objet théorique du *cours d'expérience*), permettant de rendre compte de l'épaisseur de la compréhension située que les acteurs construisaient en situation, et ont ensuite été réduites aux « partenaires pris en compte pour agir » seulement après cette première étape respectueuse de la logique intrinsèque du sujet. Deuxièmement, les critères retenus pour opérer la réduction ne sont pas vides de sens pour les participants de l'étude, dans la mesure où leur activité de basketteur à chaque instant est fortement teintée de cette préoccupation de jeu (i.e., qui prendre en compte et à quel moment ?), et où cette préoccupation de jeu est également l'objet de préoccupations pédagogiques au cours des entraînements (e.g., apprendre à engager son activité en direction de certains partenaires à certains moments). De la sorte, la réduction opérée constitue une forme de délimitation/focalisation de l'objet d'étude en direction d'un phénomène important de la coordination spatiotemporelle dans les collectifs plus larges que les dyades. Troisièmement, la réduction réalisée offre des possibilités de traitements mathématiques et un gain en modélisation non négligeables. Les possibilités mathématiques sont facilitées par le caractère dichotomique (et donc chiffrable à moindres frais) de la réduction opérée (i.e., un partenaire donné peut être pris en compte/non pris en compte). Le gain en modélisation provient de la réduction de chaque instant de l'activité à une matrice, traitable à partir des outils de l'analyse des réseaux (i.e., chaque instant de coordination devient un graphe). Ces outils permettent d'accéder à un registre de description difficile à obtenir dans les descriptions qualitatives : par exemple, identifier un acteur qui joue le rôle d'intermédiaire dans le tissu de liens s'enchaînant dynamiquement au fil des réseaux. Egalement, cette réduction quantitative a permis de comparer les données observées à des données de population générale simulées (i.e., impossibilité de simuler des données qualitatives), et *in fine* de discuter le caractère significatif ou non des observations réalisées sans avoir recours à une multiplication des études de cas.

PARTIE 3 - CHAPITRE 4

QUESTIONS RESOLUES ET NON-RESOLUES



Pour rappel, nos travaux ont tenté de *i)* rendre compte des possibilités méthodologiques d'observer des corrélations non-accidentelles dans les trajectoires de déplacement spatiotemporel de joueurs de basketball. Nous avons pour cela exploré la fécondité des outils de la théorie des systèmes dynamiques. Ensuite, nos travaux ont tenté de *ii)* rendre compte du processus d'articulation des constructions de significations individuelles dans la dynamique de l'activité collective située de joueurs de basketball. Nous avons pour cela inscrit notre travail au sein du programme de recherche du Cours d'action. Finalement, nos travaux ont tenté de *iii)* rendre compte des possibilités méthodologiques d'appréhender les phénomènes d'auto-organisation à l'œuvre dans l'activité collective en train de se faire. Pour ce faire, nous avons exploré l'heuristique d'une approche multi-niveaux appliquée d'une part aux données de coordination comportementale, et d'autre part aux données d'articulation des constructions de signification individuelles. Nous synthétisons ici les apports méthodologiques et empiriques des travaux précédents à partir des questions que nous avons résolues (i.e., évidemment seulement en partie), et de questions vives qui restent largement ouvertes. Le jeu de cette discussion contradictoire permet de dessiner simultanément les contours d'une critique de nos travaux actuels ainsi que les enjeux des investigations futures.

QUESTIONS RESOLUES

Si aucune question scientifique n'est jamais véritablement résolue, il nous semble tout de même que nos travaux ont permis des avancées et des acquis qui, au moins dans notre parcours personnel de recherche, permettent de réfléchir aux conditions d'une transition vers des investigations plus ciblées. Ces acquis nous semblent pouvoir être référés aux éléments de définition de ce qu'est la cognition collective dans une approche énaïve des couplages sociaux. Formulés dans la partie relative à notre épistémologie générale sous forme de jalons (i.e., Partie 2), ces éléments sont au nombre de six et avaient conduit à définir la cognition collective comme la *phénoménologie de la dynamique d'interaction humaine qui donne lieu à l'émergence de différents niveaux d'organisation dans l'unité sociale*. Nos travaux viennent d'une part préciser les modalités empiriques de concrétisation de chacun de ces jalons, et d'autre part proposer des outils méthodologiques susceptibles d'en conduire l'étude empirique.

Premièrement, nous avons considéré les équipes comme des *systèmes complexes* adaptatifs auto-organisés donnant lieu à la stabilisation de patterns intrinsèques de fonctionnement. Nous avons montré qu'il était possible méthodologiquement *i)* d'identifier de tels patterns dans l'analyse

des comportements spatiotemporels dyadiques et collectifs à partir de mesures de trajectoires, *ii*) d'identifier de tels patterns dans l'analyse de l'articulation des phénoménologies propres des acteurs à partir de méthodes issues de l'analyse des réseaux sociaux, et nous avons suggéré que *iii*) la relation entre les formes globales et triadiques d'activité (i.e., densité/transitivité) témoignait d'un pattern identitaire que l'équipe essayait de maintenir/affirmer dans son activité. Egalement, donnant un rôle crucial à la variabilité interne au système, nous avons pu *iv*) différencier les couplages dyadiques entre eux à partir de la flexibilité de leur couplage spatiotemporel, et *v*) discriminer le niveau d'expertise des équipes dans leur capacité à maintenir stable le pattern densité/transitivité observé à partir des données d'expérience vécue. Finalement, la recherche de méthodes de descriptions non-agrégatives des adaptations individuelles nous a conduit à *vi*) développer/mobiliser des métriques et variables collectives susceptibles de capturer le comportement collectif du système social comme un tout.

Deuxièmement, nous avons considéré que la cognition collective était une *activité* indexée à un contexte, ce qui nous a permis de détailler les logiques temporelles et d'articulation des activités entre elles dans le décours des événements de jeu en situation réelle de match sportif. Cette approche nous a conduit à montrer que l'analyse de l'activité en train de se faire, dans sa dynamique temporelle, était susceptible de révéler des convergences entre les acteurs non décelables par des analyses statiques (i.e., synthétiques et/ou transversales). A titre illustratif, le partage limité de préoccupations entre les joueurs masque les convergences non-négligeables qui se construisent entre les activités dans le décours de leur agencement situé (Bourbousson et al., 2012). Nous avons finalement montré que la description de ce flux dynamique des activités interactives était susceptible d'éclairer d'un nouveau regard les « modèles » (i.e., de la *fleur* ou de la *chaîne*) les plus adéquats pour décrire la façon dont les partenaires s'y prennent pour construire ensemble leur coordination spatiotemporelle. Si ces avancées empiriques donnent parfois le sentiment de générer des études seulement descriptives, peu explicatives, et ne contribuant pas à une théorie de l'objet d'étude investigué, elles ne doivent pas minorer la dimension explicative contenue dans nos résultats et leur insertion/contribution à un programme de recherche clairement délimité (i.e., Theureau, 2006). Si ces travaux n'ont pas contribué à la construction d'un « modèle » de la cognition collective présenté sous forme de boîtes et de flèches reliées par des liens de causalité (i.e., peu compatible avec une approche temporelle et éactive, De Jaegher & Di Paolo, 2007 ; Roe et al., 2012), ils ont tout de même suscité des descriptions fécondes et heuristiques, permettant de questionner lesdits modèles issus des approches transversales classiques dans l'étude de la cognition collective.

Troisièmement, nous avons considéré qu'une description des *interactions* entre les membres devait être tenue pour une description de la cognition collective. Sur ce point, le recours opéré à des méthodologies interdisciplinaires d'analyse de ces interactions a montré l'heuristique de ces

tentatives. A titre illustratif, l'utilisation de mesures de phases relatives pour décrire les couplages interpersonnels se produisant à un niveau spatiotemporel de description (Bourbousson et al., 2010ab) a montré la capacité de ces outils à capturer des patterns intra- ou inter-équipes, et à pointer le degré de variabilité de ces patterns. Egalement, la modélisation de l'équipe au cours de son activité située sous forme de réseau social constitue une de nos contributions non-négligeables à l'étude des interactions dans leur forme subjective et dynamique (Bourbousson et al., 2015). En conduisant ce type d'analyse, nous avons produit des descriptions empiriques dénuées d'inputs et d'outputs (i.e., en référence au modèle IPO décrit dans la Partie 2), permettant de considérer l'interaction entre les acteurs non comme une variable médiatrice ou intermédiaire, mais comme le cœur de ce qui constitue la socialité en train de s'opérationnaliser.

Quatrièmement, et comme une opportunité ouverte par la focalisation sur la notion d'interaction, nous avons considéré que la cognition collective s'exprimait à différents *niveaux d'organisation*. Sur ce point, nous avons montré que les patterns d'activité observables à différents niveaux ne renvoyaient pas les mêmes propriétés. A titre illustratif, l'analyse multi-niveaux des réseaux sociaux de coordination cognitive entre les membres montre que la faible densité d'un réseau observée à un haut niveau d'analyse n'empêche pas, à un niveau inférieur d'analyse, les triades de se boucler et les dyades de se connecter mutuellement de façon tout à fait normale (Bourbousson et al., 2015). Egalement, un apport convaincant quant à l'intérêt d'une description multi-niveaux de la cognition collective réside dans les phénomènes d'interférences entre niveaux d'organisation que nous avons capturés (Bourbousson et al., 2014b, 2015). De la sorte, nous avons montré que si la cognition collective s'observe à différents niveaux d'organisation du fonctionnement collectif, elle peut aussi exprimer ses particularités dans les relations spécifiques qu'elle établit *entre* les niveaux d'organisation. Par exemple, nous avons montré que l'essentiel des relations d'interférences entre les niveaux étaient propre au fonctionnement d'une équipe donnée, car une seule forme d'interférence inter-niveaux a été pointée dans les deux échantillons étudiés (i.e., équipes novice et experte). Nous avons également suggéré que ces relations inter-niveaux d'organisation pouvaient contribuer à l'analyse des différences d'expertise entre des équipes sportives (Bourbousson et al., 2015).

Cinquièmement, nous avons considéré que la cognition collective était un phénomène *dynamique*, appelant des descriptions « temporelles » des phénomènes visés. Nous avons sur ce point montré que les résultats obtenus dans des analyses synthétiques (i.e., compilation des données dynamiques d'activité collective dans une description statique) et temporelles pouvaient conduire à des interprétations distinctes. A titre illustratif, l'analyse synthétique du partage des préoccupations par les joueurs dans une même activité collective située montre que les joueurs partagent peu les perspectives qu'ils construisent respectivement dans leur activité. Pour autant, la description pas à

pas des interactions situées pointe des convergences temporelles non-négligeables entre ces préoccupations qui se tissent dans la dynamique de l'activité. Egalement, bien que l'étude des éléments de connaissance mobilisés par les membres montre qu'ils sont peu partagés au sein de l'équipe (Bourbousson et al., 2011), l'analyse temporelle montre que les référentiels individuels des joueurs se transforment souvent de façon analogue dans le cours de l'activité collective. De la sorte, bien qu'une forme d'hétérogénéité cognitive soit décelable via les analyses statiques de l'activité située, l'analyse temporelle dévoile la consistance de l'activité collective, disséminée dans un arrière-plan dynamique. Finalement, dans notre dernière étude, la mobilisation des analyses de séries temporelles (Bourbousson et al., 2015) a permis de réévaluer le « modèle » (i.e., de la *fleur* ou de la *chaîne*) organisant l'activité collective : alors que le modèle de la *fleur* semblait peu pertinent du fait de la faible densité des coordinations cognitives s'opérant dans l'activité, l'analyse du décours dynamique des ressorts de l'interconnectivité a suggéré que ce modèle restait le plus révélateur de la manière dont les membres se « connectaient » en situation.

Finalement, nous avons considéré que la cognition collective devait être appréhendée à partir de l'articulation des *constructions de significations* individuelles. La conduite de cette approche nous a permis de montrer notamment combien les joueurs développaient sur le jeu un monde propre ancré dans leur propre activité plutôt que dans les événements extérieurs à l'équipe (Bourbousson et al., 2011). Ce résultat contribue à questionner les approches « réalistes » de l'*awareness* des membres (e.g., Endsley, 1995), et argumente en direction d'approches internalistes du fonctionnement des équipes. Egalement, la mobilisation de descriptions dites en première personne (qui intègrent le point de vue des acteurs pour décrire leur activité) a permis de défendre une forme de phénoménologie empirique de l'activité collective humaine, peu développée en sciences du sport au départ, et aujourd'hui plutôt acquise et reconnue (e.g., Araujo & Bourbousson, sous presse).

QUESTIONS VIVES NON-RESOLUES

Malgré nos avancées, certains points méritent encore de larges investigations. Ces besoins sont synthétisés en quatre axes, relatifs à l'intérêt de *i)* décrire la façon dont les significations partagées sont construites *dans* et *par* la coordination interpersonnelle, *ii)* mobiliser des approches plus *inférentielles* et *modélisatrices*, *iii)* résoudre le *paradoxe des modes de régulation* dans les collectifs larges, et *iv)* considérer le rôle des *phénomènes culturels* dans la dynamique située des couplages sociaux.

DECRIRE LA FAÇON DONT LES SIGNIFICATIONS PARTAGEES SE CONSTRUISENT DANS ET PAR LA COORDINATION. Telle que nous l'avons construite, l'approche énaïve des couplages sociaux démarre par la capture des coïncidences comportementales de plusieurs agents qui s'influencent mutuellement. Ensuite, un pas supplémentaire vise l'appréhension des significations partagées associées à ces phénomènes de coordination comportementale. Nos travaux ont conduit ces analyses séparément. Si cette séparation a permis des approfondissements méthodologiques, elle s'est réalisée au prix d'une incomplétude des descriptions empiriques fournies : nos travaux conduits jusqu'alors ne décrivent pas la façon dont les vécus subjectifs s'ancrent dans les patterns comportementaux, et/ou comment ces subjectivités contribuent en retour à transformer la structure dynamique de coordination. Une telle description conjointe est un enjeu fort d'une approche pleinement énaïve des couplages sociaux. Il nous manque donc à conduire une analyse de la manière dont le processus de compréhension de l'autre et du monde se construit *dans* et *par* la coordination (i.e., comportementale), c'est-à-dire décrire le mouvement de double contraintes qui se tisse dynamiquement entre le mouvement des corps (i.e., et de leur situation) et le mouvement des mondes propres des protagonistes.

La piste méthodologique la plus à même d'avancer sur cet enjeu opérationnalise un croisement des descriptions en première personne (i.e., *first-person*) et en troisième personne (i.e., *third-person*) (Varela & Shear, 1999). Les descriptions en première personne visent l'intégration dans l'analyse du point de vue de l'acteur, et renvoient généralement au traitement de données phénoménologiques (Petitmengin, 2009). C'est le type de description que nous obtenons dans la construction des *cours d'expérience* des acteurs (Theureau, 2006). Les descriptions en troisième personne sont multiples. Elles peuvent être comportementales ou physiologiques, et signent le point de vue du chercheur qui décrit un phénomène mesurable de l'activité. C'est le type de description que nous obtenons à partir des données de trajectographie des joueurs sur le terrain. Le croisement des données en première et troisième personnes en sciences du sport n'est pas commun (Adé & Seifert, 2015 ; Seifert, 2010), mais a déjà montré son heuristique pour des descriptions fines et détaillées de l'activité collective en train de se faire (Poizat, Bourbousson, Saury, & Sève, 2012 ; Sève, Nordez, Poizat, & Saury, 2013) (i.e., nous revenons sur l'intérêt et les conditions d'un tel croisement dans la partie suivante, Partie 4). Ainsi, susceptible de conduire à des travaux plus intégratifs de nos acquis méthodologiques et empiriques, une analyse de l'activité collective qui combine des descriptions en première et troisième personnes devrait permettre de *décrire comment les phénoménologies respectives des protagonistes contraignent et sont contraintes par la dynamique comportementale et situationnelle de leur coordination interpersonnelle*.

MOBILISER DES APPROCHES PLUS INFÉRENTIELLES ET MODELISATRICES. Nos travaux ont actualisé une volonté de décrire la dynamique fine d'engendrement de l'activité collective et de sa phénoménologie. Cette ambition descriptive s'est réalisée au prix d'une relation parfois serrée entre nos résultats et les terrains d'études les ayant générés (i.e., nous revenons sur les limites des études de cas et les conditions de la généralisation des résultats dans la partie suivante, Partie 4). Surtout, les descriptions qualitatives et analyses compréhensives conduites dans plusieurs études (e.g., Bourbousson et al., 2010, 2011, 2012) souffrent du manque d'une analyse plus inférentielle et modélisatrice.

Sans souscrire à une épistémologie néo-positiviste, la recherche de *patterns* d'activité, de *structures* de coordination, de *variabilité* fonctionnelle (pour ne citer que ceux-là) ne peut pleinement se réaliser dans une approche exclusivement qualitative. Certes des méthodes qualitatives existent pour identifier des patterns de signification dans l'activité humaine (e.g., Braun & Clark, 2006) ou des patterns de comportements (e.g., Heath & Hindmarch, 2002), mais montrer empiriquement que ces patterns (ou coïncidences comportementales) sont « non-accidentels » gagne à être fait à l'aune de statistiques inférentielles (i.e., intégrant la prise en compte de la distribution statistique des données et l'analyse de leur probabilité d'occurrence). Ce type de démarche a été engagé dans l'analyse des réseaux sociaux cognitifs en basketball, notamment par le recours à la simulation de graphes aléatoires (i.e., constituant la population parente) pour étayer la discussion du caractère non-accidentel des observations faites sur notre échantillon (Bourbousson et al., 2015). C'est également ce type de statistiques que nous avons mobilisées dans l'analyse des contraintes spatiotemporelles pesant sur l'activité individuelle en basketball (i.e., conditions de déclenchement d'un drive) (Bourbousson et al., 2014b). Malgré ces avancées, cette démarche est à approfondir en direction d'une intégration plus fine des modèles mathématiques issus de la théorie des systèmes dynamiques. A titre illustratif, la modélisation des comportements collectifs (et de leur conditions de production) par les outils de la synergétique (e.g., équations stochastiques, non linéaires ou différentielles, Haken, 2007) est une piste sérieuse de perfectionnement de notre approche (voir Partie 4 pour plus de détails). Ce type de procédure, dans la mesure où il tente de résumer les observations empiriques dans une formule mathématique synthétique, est propice à la fois à une certaine continuité entre les travaux menés (i.e., perfectionner/paramétrer l'équation au gré des études empiriques), et à un dialogue interdisciplinaire plus facile (e.g., avec les sciences du numérique ou plus généralement avec les travaux conduits relativement aux systèmes multi-agents (Di Paolo et al., 2010 ; Froese & Di Paolo, 2008). Dans la mesure où la synergétique vise l'identification de principes généraux d'auto-organisation qui sont indépendants de la nature des composants du système, ce type d'approche est également propice à un gain non négligeable du pouvoir de généralisation des études conduites.

Ce point de critique/poursuite de nos travaux n'est pas simple à opérationnaliser tout en maintenant une approche pleinement énaïve des couplages sociaux, dans la mesure où les modélisations mathématiques s'appliquent à des données quantitatives. De la sorte, une telle démarche, si elle veut intégrer des données en première personne, devra soit mathématiser l'intrinsèque (Bourbousson et al., 2014a) avant de le modéliser (i.e., assez proche de la démarche que nous avons adoptée via le recours aux SNA dans Bourbousson et al., 2015), soit intégrer les données en première personne dans les méthodes d'échantillonnage des données comportementales (i.e., quantitatives) afin de ne modéliser ensuite que les données relevant de la description en troisième personne (Saury, Adé, Lardy, Nordez, Seifert, Thouwarecq, & Bourbousson, 2014). Egalement, si l'enjeu est *in fine* de gagner des possibilités de discuter nos résultats avec des terrains de recherche plus variés, la construction d'un paradigme expérimental d'étude des comportements collectifs et de leurs modes de régulation reste une piste à explorer. Quoiqu'il en soit, ce pas en direction des approches inférentielles et modélisatrices se fera certainement au prix d'une réduction de l'activité à certaines de ses dimensions modélisables (e.g., réduire l'activité collective à une coordination de trajectoires), ou d'une réduction des hypothèses explicatives investiguées (i.e., testables par les statistiques).

RESOUDRE LE PARADOXE DES MODES DE REGULATION DANS LES COLLECTIFS LARGES. Nos travaux n'ont jusqu'à maintenant pas directement porté sur les modes de régulation adoptés par les acteurs se coordonnant. Pour autant, nos résultats ont largement permis de générer des hypothèses relatives à ces modes de régulation dans un collectif de cinq membres. Ces hypothèses contribuent à dessiner un paradoxe empirico-théorique dans la mesure où elles viennent interroger un des présupposés forts de l'approche énaïve des couplages sociaux, celui de la nécessité d'une *co-régulation* des activités des membres pour construire l'autonomie du système social. Nous détaillons les enjeux d'analyse susceptible d'aider à lever le *paradoxe des modes de régulation*.

Les membres des équipes étudiées prenaient peu en compte mutuellement leurs activités respectives. De la sorte, la co-régulation des activités des membres n'a pas été érigée comme ressort-clé de leur activité collective. Pour autant, cette co-régulation est le processus supposé permettre l'émergence d'un système social opérationnellement clos et affirmant son autonomie (De Jaegher & Di Paolo, 2007). Le paradoxe démarre en considérant que nos travaux ont montré les signes d'une autonomie relative des couplages sociaux en basketball (e.g., signatures des systèmes dynamiques, causalité ascendante et descendante) (Bourbousson et al., 2010ab, 2014b, 2015), alors que ces couplages ne semblaient pas régis par un processus de co-régulation. Ainsi, les descriptions empiriques fournies par nos études ne sont pas en adéquation parfaite avec les éléments théoriques avancés dans l'approche énaïve des couplages sociaux. Notre hypothèse à ce stade renvoie au

nombre de membres impliqués dans les collectifs étudiés (i.e., cinq membres), plus large que les dyades souvent considérées dans les petits sketches théoriques construits pour conceptualiser les couplages sociaux (e.g., De Jaegher & Di Paolo, 2007), et impliqués dans les systèmes d'interaction construits pour développer l'approche des croisements perceptifs (Froese & Di Paolo, 2008 ; Froese et al., 2014 ; Iizuka & Di Paolo, 2007 ; Auvray & Rohde, 2012). Ceci témoigne du fait qu'il manque encore au paradigme éactif des couplages sociaux une opérationnalisation précise de ses présupposés dans les collectifs plus larges que les dyades.

Que peuvent être les modes de régulation dans un collectif large ? Si les acteurs se co-régulent tous pour faire émerger l'autonomie de leur système social, alors chaque dyade composant le collectif est mue par un processus de réciprocité des relations. A titre illustratif, un collectif de dix membres est composé de quarante-cinq dyades qui, si elles sont chacune le lieu d'une co-régulation, demandent à chaque acteur de prendre en compte l'activité de neuf autres protagonistes, sans jamais cesser de se réguler avec eux sous peine de faire basculer leur coordination propre sur un mode unidirectionnel (i.e., *one-sided coordination*, Di Paolo et al., 2010). Comment conceptualiser l'autonomie du système social si l'on admet cette impossibilité d'une co-régulation permanente d'un nombre important de partenaires ? D'un côté, l'autonomie même des couplages sociaux dans les collectifs larges pourrait être questionnée dès lors que les membres sont trop nombreux pour tous se co-réguler à chaque instant. Alternativement, cette autonomie (pour l'existence de laquelle nos travaux identifient des signes encourageants) n'aurait pas besoin d'une co-régulation parfaite pour se construire. La non-résolution de ce paradoxe est autant un manque de nos travaux actuels qu'une piste prometteuse d'avancement du programme éactif des couplages sociaux.

Deux pistes de conceptualisation des modes de régulation en collectifs larges peuvent être avancées. Dans la première piste, les acteurs se co-régulent, mais cette co-régulation implique peu d'interactants, c'est-à-dire qu'un acteur se coordonne mutuellement avec un ou deux protagonistes dans son espace proche. Ce mode de régulation, classiquement référé à un *mode de régulation locale*, se rapproche des modes de régulation adaptatifs observés en éthologie des comportements en essaim (e.g., insectes sociaux, bancs de poisson) – même si ici l'exigence de co-régulation est plus forte que les modes de régulation animaux qui se suffisent souvent d'une coordination locale unidirectionnelle. De la sorte, dans cette première conceptualisation, le fonctionnement des collectifs larges se construirait sur l'hypothèse d'un *mode de co-régulation locale*. Cette hypothèse est crédible et assouplit les exigences de coordinations mutuelles entre tous les membres. Elle laisse cependant largement ouverte l'analyse empirique de la manière dont ces co-régulations locales pourraient s'agencer entre elles pour permettre au collectif de produire son autonomie. De la sorte, cette piste reprend l'hypothèse d'une *imbrication en chaîne de coordination locales* (Bourbousson

et al., 2010c) en y intégrant des exigences de co-régulation à l'échelle locale (exigences que nous n'avions pas formulées, Bourbousson et al., 2010c).

Toutefois, si l'hypothèse précédente est plausible, elle fait fi de la capacité humaine à être sensible aux propriétés macroscopiques exhibées par les systèmes auxquels ils sont couplés (e.g., Marmelat & Delignières, 2014), c'est-à-dire ici au produit spatiotemporel qu'ils contribuent à construire (e.g., Bourbousson et al., 2014b). Notre deuxième piste considère cette possibilité et envisage la possibilité d'un mode de *régulation globale* (Marmelat & Delignières, 2014). Dans ce type de processus adaptatif et interactif, l'acteur prend en compte la forme spatiotemporelle émergente, et régule son comportement sur cette base (e.g., Feigean, 2015). Assez facile à se figurer (e.g., un joueur de basketball repère une zone surchargée collectivement, et se déplace à l'opposé pour équilibrer l'occupation de l'espace), ce mode de régulation est susceptible d'être viable dans des collectifs pouvant être très larges (e.g., le supporter perçoit le mouvement et le rythme général de la *ola* dans le stade et régule ses oscillations sur cette base). Pour autant, dans un tel mode de régulation, les acteurs régulent leur activité à un deuxième terme qui est émergent et insaisissable (i.e., un phénomène collectif), et qui de surcroît n'est pas engagé lui-même dans une activité autonome de régulation (i.e., le phénomène collectif peut être autonome mais cette autonomie n'est pas adaptative à ce niveau d'organisation, Di Paolo, 2005). Ainsi, décrire un mode de régulation globale par des processus de co-régulation ne semble pas simple, voire éventuellement peu adéquat. On retombe dans ce cas sur le paradoxe initial, dans la mesure où réduire la nécessité d'une co-régulation annule théoriquement la possibilité d'apparition d'une pleine autonomie du couplage social, alors que les signes de cette autonomie constituent des évidences empiriques sur différents terrains (voir par exemple les travaux portant sur les phénomènes d'applaudissements d'un public ou de comportements collectifs non-linéaires en football; Duarte, Araujo, Folgado, Esteves, Marques, & Davids, 2013 ; Néda, Ravasz, Brechet, Vicsek, & Barabasi, 2000).

En somme, et sans trancher le débat ni l'enfermer dans les seuls cas que nous venons de dessiner, il nous semble que le paradoxe des modes de régulation reste largement non résolu, et suggère dans le même temps des apports intéressants des travaux futurs centrés sur cette problématique. Sur ce point, et sans supposer la nécessité d'identifier un mode exclusif de régulation explicatif de l'ensemble des couplages sociaux autonomes, nous développerons dans la Partie 5 un projet de recherche centré sur ces enjeux (Bourbousson, 2016-2020), visant notamment à identifier les conditions spatiotemporelles de viabilité/efficacité de ces différents modes de régulation en relation avec les propriétés collectives émergentes offertes par lesdits modes de régulation.

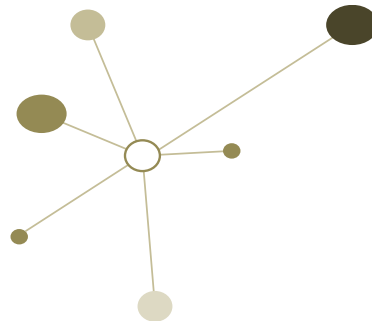
PHENOMENES CULTURELS ET DYNAMIQUE DES COUPLAGES SOCIAUX. Pour comprendre le besoin de considérer les phénomènes généraux de *culture* dans la dynamique située des couplages sociaux,

certaines de nos apports empiriques sont susceptibles d'en éclairer la nécessité. Nos travaux ont suggéré le caractère fortement unidirectionnel des couplages entre protagonistes (i.e., un acteur régule son activité à celle d'un autre acteur qui, en retour, ne prend pas en compte l'activité du premier). Ce mode de coordination a été référé à un phénomène de *one-sided coordination* dans lequel un individu se coordonne à autrui plutôt qu'*avec* autrui (Di Paolo et al, 2010). Cette forme de coordination présente une régularité et une robustesse intéressantes lorsque les comportements coordonnés sont régis par une forme de *contrôle externe* de la coordination (Di Paolo et al., 2010). Ce contrôle externe, forme d'horloge commune (i.e., au sens propre comme au sens figuré), peut être un troisième terme situé (e.g., un ancrage situationnel commun), ou bien relever des expériences passées des membres. Mettre les expériences passées de membres au rang de contrôle externe ne sous-entend pas pour Di Paolo et ses collaborateurs un phénomène de prescription externe, mais délimite les cas pour lesquels la corrélation comportementale non-fortuite observée en situation ne provient pas principalement de la dynamique intrinsèque située du couplage considéré. Pour ces auteurs, le terme de *pré-coordination* permet ainsi d'inclure l'histoire préalable des protagonistes (i.e., que cette histoire soit directement partagée par co-ontogénèse ou indirectement par des phénomènes de transmission socio-culturelle diffus), c'est-à-dire les facteurs historico-culturels de leur dynamique interactive locale de coordination (Di Paolo et al., 2010).

Si le rôle général des facteurs historico-culturels dans un processus individuel de couplage structurel a déjà été l'objet de discussions (e.g., Brill, 1983), ces facteurs ont très peu été l'objet de considérations dans l'approche énaactive des couplages sociaux (Froese & Di Paolo, 2011), faisant de l'hypothèse de la médiation culturelle des processus d'interaction une hypothèse largement ouverte et sous-documentée. Si nos travaux ont suggéré le rôle de cette culture pour comprendre par exemple que les équipes expertes de basketball fonctionnent sur des liens cognitifs de faible densité comparativement aux équipes novices (Bourbousson et al., 2015), nos travaux ont apporté peu d'éléments empiriques décrivant la manière dont cette culture s'imisce dans la dynamique située des coordinations sociales. Les orientations de recherche actuelles que nous explorons en direction de protocoles de recherche plus expérimentaux et modélisateurs (voir Parties 4 et 5) ne permettent pas pour le moment de faire de cet enjeu une priorité. Pour autant, nous reconnaissons que les questions théoriques et empiriques associées restent de première importance pour le développement d'une approche énaactive des couplages sociaux (Froese & Di Paolo, 2011).

PARTIE 4

DIRECTIONS DE RECHERCHE ET CONDITIONS EPISTEMOLOGIQUES DE LEUR MISE EN ŒUVRE



PARTIE 1 : PARCOURS ET QUESTIONNEMENT

PARTIE 2 : ELEMENTS D'EPISTEMOLOGIE GENERALE

PARTIE 3 : TRAVAUX DE RECHERCHE : ACQUIS EMPIRIQUES ET METHODOLOGIQUES

PARTIE 4 : DIRECTIONS DE RECHERCHE ET CONDITIONS EPISTEMOLOGIQUES DE LEUR MISE EN ŒUVRE

PARTIE 5 : PROJETS DE RECHERCHE AMORCES

A ce stade de la note de synthèse, sont développées les lignes qui dirigent nos projets actuels ainsi que les conditions épistémologiques de leur mise en œuvre. La logique de ces lignes s’ancre dans une partie des questions non-résolues par nos travaux empiriques (i.e., synthétisés dans la Partie 2 en plusieurs défis ou verrous scientifiques à lever prioritairement). Premièrement, décrire la façon dont les significations partagées sont construites *dans* et *par* la coordination interpersonnelle appelle une **analyse conjointe des descriptions en première et troisième personnes** pour observer les contraintes mutuelles entre ces deux niveaux de description. Ensuite, la recherche d’une approche plus inférentielle conduit à **compléter l’étude des situations naturelles par celle de situations plus « contrôlées »**, à **compléter les études descriptives par des études plus « modélisatrices »**, et à envisager des **relations plus serrées avec les sciences du numérique**. Finalement, le *paradoxe des modes de régulation* dans les collectifs larges appelle des projets aux méthodologies contrastées mais se donnant comme objet l’étude des **modes de (co)régulation favorables à l’émergence de comportements collectifs**.

Les deux chapitres à suivre présentent respectivement les conditions épistémologiques d’opérationnalisation de deux directions de recherche: *i)* de l’étude séparée des dimensions subjectives et comportementales à celle de leur articulation ; et *ii)* de l’étude des situations naturelles à celle des situations contrôlées. Ces deux directions permettent de dépasser une partie des limites de nos travaux actuels et d’ouvrir nos recherches en direction des sciences du numérique. Elles ont l’avantage de proposer une trame qui peut s’actualiser au sein d’un même projet de recherche (e.g., Bourbousson, 2016-2020, Partie 5). Elles ont le défaut de reporter à des travaux ultérieurs la focalisation sur le rôle de la *culture* dans les processus situés de coordination.

PARTIE 4 - CHAPITRE 1

DE L'ETUDE SEPARÉE DES DIMENSIONS SUBJECTIVES ET COMPORTEMENTALES A CELLE DE LEUR ARTICULATION



*« Ce n'est pas parce que nous sommes ici partis d'une analyse de l'expérience vécue, que pour tenter de répondre à ces questions, nous sommes condamnés à rester enfermés dans la subjectivité. Nous n'adoptons pas une position idéaliste ou subjectiviste, mais une perspective qui se situe en deçà de la scission entre sujet et objet. Cette perspective n'exclut donc pas la possibilité de rechercher la confirmation et l'affinement de données en première personne par des données en troisième personne, dont le recueil pourra à son tour être guidé et enrichi par les premières. Seule cette circulation entre les deux versants permettra de porter l'hypothèse de l'énaction jusqu'à son terme. »
(Petitmengin, 2006b, p.91)*

Pour reprendre le schéma organisateur d'un programme de recherche énaactif (Froese & Fuchs, 2012), trois versants sont à articuler : une approche théorique (V1), une approche empirique expérimentale (V2), et une approche empirique subjectiviste (V3). L'approche théorique (V1) s'alimentant dans les formes de philosophie de l'esprit, de biologie théorique ou des sciences de l'artificiel, nos visées scientifiques se positionnent majoritairement sur les deux autres versants (i.e., empiries objectiviste et subjectiviste, V2 et V3). Ces approches sont respectivement et grossièrement définies comme relevant d'un côté d'études mobilisant des mesures objectives (V2), et de l'autre un recours à des descriptions phénoménologiques (V3). L'ambition du programme énaactif tel que dressé par Froese et Fuchs (2012) est de permettre l'intégration de ces versants. Ils suggèrent que les théories des systèmes complexes puissent être un cadre relativement fécond pour réaliser cette articulation. La Partie 2 de la présente note de synthèse clarifie les ressorts théoriques de nos travaux (V1). La Partie 3 permet d'évaluer notre contribution à cette approche comme ayant séparé les contributions aux versants objectivistes (i.e., V2) et subjectivistes (i.e., V3). Dans ce cadre, la conceptualisation des équipes comme systèmes complexes adaptatifs est susceptible de permettre une meilleure intégration des trois versants de l'approche (i.e., V1, V2, et V3).

Afin de développer les conditions d'une meilleure intégration des versants objectivistes (i.e., comportemental dans notre cas) et subjectivistes de nos études, nous *i*) différencions les descriptions dites en *première* et *troisième personnes* (*first- and third-person accounts*), *ii*) précisons les enjeux d'une articulation de ces descriptions, et *iii*) envisageons le spectre des possibilités d'articulation de ces descriptions dans le cadre d'une approche énaactive des couplages sociaux.

DECRIRE L'ACTIVITE : DESCRIPTIONS/POSTURES EN PREMIERE ET TROISIEME PERSONNES

Une terminologie revient souvent quant à l'articulation des approches objectivistes et subjectivistes, celle des descriptions en *première personne* versus descriptions en *troisième personne*

(Varela & Shear, 1999). Une *description en première personne* d'un phénomène vise l'investigation de l'activité du sujet à partir de l'expérience qu'il en fait. Ces descriptions considèrent que le phénomène en question a une pertinence pour le sujet lui-même, et/ou lui est directement manifeste dans son activité de sorte qu'il est utile de le faire témoigner de sa perspective propre. Il s'agit donc, par ce type de description, de rendre compte de l'expérience vécue du sujet qui est associée (i.e., imbriquée) aux événements qui constituent l'étude (Petitmengin, 2006a). À l'inverse, une *description en troisième personne* appréhende le phénomène étudié tel qu'il est vu par le chercheur (ou plus généralement un observateur extérieur). Cette description en troisième personne peut être qualitative ou quantitative, portant sur les dimensions physiologiques, biomécaniques, comme sur les ancrages informationnels de l'activité, les comportements ou les communications verbales. Cette approche est parfaite pour rendre compte de phénomènes physiques ; elle est plus débattue lorsqu'elle rend compte de phénomènes subjectifs (voir par exemple l'explication des phénomènes de conscience par leurs corrélats neuronaux, Chalmers, 2000).

Lorsque le phénomène visé implique l'activité humaine, susceptible d'être rendue intelligible par des descriptions en première personne, alors s'ouvre tout un espace de débat sur la pertinence de chaque type de description, intégrant en sous-basement la rencontre d'ontologies différentes (Thompson, 2011). Une fois acquis l'intérêt du croisement de ces approches, alors se pose la question technique de leur articulation dans le travail empirique. Varela considérait vain l'idée « *d'isoler les descriptions en première personne. Nous avons besoin de les harmoniser et de les contraindre en construisant des liens appropriés avec les comptes-rendus en troisième personne* » (Varela & Shear, 1999, p.2), positionnant la question de leur articulation comme une discussion inévitable. Pour Varela et Shear (1999), trois *postures* de chercheurs méritent d'être clarifiées. Ces trois *postures* ne se structurent/distinguent pas à partir du contenu qu'elles visent (e.g., décrire les phénomènes de conscience), mais de la manière dont ce contenu est obtenu : par un tiers n'ayant pas besoin du sujet concerné pour dire quelque chose de son activité, par le sujet lui-même, ou par un tiers aidant le sujet concerné. Ces trois manières de conduire une recherche délimitent respectivement une posture en troisième personne, en première personne, et en seconde personne (Varela & Shear, 1999). Cette notion de *posture* intègre mais ne se superpose pas avec celle de *description* définie ci-avant.

La *posture en troisième personne* du chercheur consiste à décrire le comportement observable et/ou diverses dimensions mesurables, sans viser la compréhension du sujet cognitif sous-jacent. Cette posture est le standard de l'observateur scientifique, basé (à l'extrême) sur le dualisme apparent entre l'interne et l'intime du sujet d'un côté, et de l'autre l'objectivité d'un regard extérieur au sujet (Varela & Shear, 1999). Cette posture prévaut dans les formes les plus objectivistes et réalistes du réductionnisme scientifique (Varela et al., 1993). La norme scientifique d'une telle

posture en troisième personne considère le sujet cognitif comme produisant des comportements (i.e., des réponses) dont la logique est suffisante pour dire quelque chose de la cognition, en relation avec des modèles symboliques de structures et de processus cognitifs.

La *posture en première personne* du chercheur décrit le sujet cognitif sans passer par quiconque d'autre que le sujet lui-même. Cette posture confère une vision purement privée voire solipsiste de la connaissance scientifique produite. Varela décrit cette position comme intenable du point de vue de la validation scientifique, dans la mesure où il est nécessaire de produire un minimum d'intersubjectivité dans la construction de la connaissance scientifique (Varela & Shear, 1999). L'intersubjectivité est entendue comme une accréditation des phénomènes observés par des corrélats de cette subjectivité obtenus par un autre point de vue. Cet autre point de vue peut être celui d'un humain subjectif (e.g., le chercheur), ou d'une mesure en troisième personne : le corrélat minimal peut être obtenu par la médiation du chercheur qui estime que le compte-rendu en première personne réalisé par le sujet est crédible (i.e., compatible avec une description en troisième personne). C'est cette intégration des descriptions en première personne dans une forme de combinaison avec un autre point de vue qui donne lieu à la posture en deuxième personne.

Comme évoqué, dans le cadre de la validité scientifique des données en première personne, il n'est pas envisageable de ne pas recourir à une posture en deuxième personne qui mobilise, conjointement aux descriptions subjectives faites par le sujet lui-même, des procédures visant à vérifier les corrélats de cette expérience subjective. Ainsi, la *posture en seconde personne*⁵ vise la compréhension de l'activité d'un sujet cognitif (i.e., elle vise une description en première personne) en passant par le chercheur (i.e., la deuxième personne) pour décrire cette activité. Dans sa forme la plus faible, cette posture décrit la cognition du sujet à partir de la compréhension contemplative que le chercheur en a (i.e., *posture indirecte*, Petitmengin, 2006a), sans que le chercheur n'accède directement, de l'intérieur, au phénomène qu'il vise. Le chercheur décrit donc de l'extérieur le point de vue de son(ses) sujet(s) : l'analyste décrit ce qui résonne chez lui, et conduit une évaluation critique de sa position de chercheur pour réduire la dépendance à sa propre résonance expérientielle. Dans la version la plus forte de la posture en seconde personne, le chercheur passe de l'autre côté de la barrière pour être *avec* le sujet ou le groupe social d'intérêt, autrement dit pour faire partie de la tribu qu'il décrit (Varela & Shear, 1999). Le chercheur fait dans ce cas un recours plus authentique aux descriptions en première personne : il décrit comment le phénomène cognitif investigué est l'objet d'une expérience singulière de l'acteur. Cette posture générale du chercheur se

⁵ On retrouve dans la littérature actuelle relative à l'interaction sociale un autre usage de la terminologie *seconde personne* (e.g., Schilbach, 2010). Les travaux de neurosciences notamment relatifs aux processus de perception/compréhension d'autrui ont défendu la nécessité d'approches en deuxième personne qui considèrent que ces perceptions sociales ont des propriétés uniques lorsqu'elles intègrent l'observateur comme un agissant, interagissant avec le sujet observé. Cette neuroscience en deuxième personne (Schilbach, Timmermans, Reddy, Costal, Bente, Schlicht, & Vogeley, 2013) se développe abondamment et croise de très près les travaux énoncés dont la terminologie *seconde personne* peut induire une certaine confusion.

décline assez vite dans des implications méthodologiques : Petitmengin (2006a) intitule par exemple *méthodes en seconde personne* les modalités de recueil de données en première personne dont la restitution est médiée/facilitée par un tiers qui devient l'accompagnateur puis interprète du sujet impliqué pour lui rester fidèle (e.g., entretien d'explicitation, entretien d'autoconfrontation).

ENJEUX D'UNE ARTICULATION DES DESCRIPTIONS EN PREMIÈRE ET TROISIÈME PERSONNES

L'articulation des descriptions en première et troisième personnes ambitionne de rendre compte simultanément de l'expérience subjective et des phénomènes externes à l'expérience. L'articulation que nous visons ambitionne de rester respectueuse d'un primat de l'intrinsèque dans la compréhension du couplage structurel. Si le couplage structurel d'un acteur avec son environnement est asymétrique, au sens où l'acteur n'interagit qu'avec ce qui est délimité par sa perspective propre, alors il est méthodologiquement nécessaire de considérer les descriptions en première personne comme venant délimiter/contraindre les traitements et interprétations qui sont faites des descriptions en troisième personne. Dit autrement, la description subjectiviste est susceptible d'« avoir le dernier mot » (ou plutôt le premier) dans le dialogue qui va s'opérer avec la description objectiviste (sous réserve que ces descriptions ne soient pas incompatibles). Des systèmes variés de contraintes mutuelles entre les deux types de description peuvent être mis en place : l'enjeu réside dans la rationalisation et l'explicitation des liens de détermination entre ces descriptions (Varela & Shear, 1999).

À l'aune de la problématique de l'articulation des données subjectives (i.e., première personne) et comportementales (i.e., troisième personne), notre contribution empirique à ce jour constitue une première manière de combiner ces données, qui consiste à *séparer diachroniquement les descriptions pour des apports qui se combinent au niveau du domaine théorique*. Cette formule décrit comment des descriptions subjectivistes (V3) et objectivistes (V2) peuvent être pensées comme complémentaires, sans que les données soient directement mises en dialogue autour d'un même terrain d'étude singulier et d'une activité située identique aux deux descriptions. Leur dialogue s'opère ici par une intégration des résultats au niveau du domaine théorique (V1), c'est-à-dire dans la discussion que le chercheur réalise pour préciser les conditions des apports de chacune des descriptions réalisées au programme de recherche auquel il contribue (intégrant éventuellement une co-détermination des discussions respectives des résultats à l'aune de l'autre type de description). Ce mode d'articulation constitue la logique de construction de la présente note de synthèse (Partie 3). Les descriptions réalisées en troisième personne ont servi à identifier les signatures des coordinations interpersonnelles produites pour retrouver les traces de l'autonomie du système social (ou décrire l'existence de patterns comportementaux) et les processus sous-jacents à

leur dynamique de perturbation/stabilisation. De façon variée, ces descriptions en troisième personne ont alternativement pris une fonction méthodologique (e.g., peut-on décrire la dynamique comportementale de coordination interpersonnelle en situation naturelle ?), empirique (e.g., que nous apprennent ces descriptions sur l'activité collective en basketball ?), ou théorique (e.g., peut-on considérer que l'activité collective en basketball donne lieu à l'émergence d'un système social autonome ?). Pour leur part, les descriptions réalisées en première personne ont servi à appréhender les processus de l'activité engagés dans la coordination interpersonnelle en explorant les apports d'une approche phénoménologique. Ces descriptions ont alternativement pris une fonction méthodologique (e.g., que permet de décrire le programme de recherche du Cours d'action dans l'analyse de l'activité collective en basketball ?), empirique (e.g., que nous apprennent ces descriptions de l'activité collective en basketball ?), et théorique (e.g., dans quelle mesure ces descriptions questionnent les conceptualisations existantes). Ce mode d'articulation des approches est une forme minimale de contribution à une approche énaïve des couplages sociaux sur les trois versants (V1-3). Il correspond au même registre de conception que celui engagé par Petitmengin dans la conduite de ses travaux relatifs à la compréhension des crises d'épilepsie (Petitmengin, Navarro, & Le Van Quyen, 2007)⁶.

SPECTRE DES POSSIBILITÉS D'ARTICULATION DES DESCRIPTIONS EN PREMIÈRE ET TROISIÈME PERSONNES

La première possibilité d'articulation des données en première personne (i.e., subjectives) avec des données en troisième personne (i.e., comportementales) qui contribue à un programme énaïve d'analyse des couplages sociaux a été introduite dans l'analyse de notre contribution empirique actuelle, et consistait à séparer diachroniquement les descriptions pour des apports qui se combinent au niveau du domaine théorique. Les modalités d'articulation détaillées ici, loin d'être exhaustives, jalonnent des options méthodologiques qui ambitionnent toutes de subordonner les données comportementales aux données subjectives (fondant une description respectueuse de l'asymétrie du couplage des acteurs avec l'environnement).

⁶ En dehors de cette logique diachronique d'articulation des descriptions, les méthodes propres à certaines de nos études phénoménologiques ont parfois articulé directement des données en première et troisième personnes de façon synchronique (e.g., Bourbousson et al., 2011). À titre illustratif, la construction d'une *articulation des cours d'action* de plusieurs protagonistes (Theureau, 2006) consiste à décrire *i*) la dynamique de l'expérience subjective de chacun sous la forme d'une restitution de leurs *cours d'expérience* respectifs, *ii*) la dynamique simultanée des événements extrinsèques (à leurs expériences) qui permettent de décrire pas à pas ce qui est venu contraindre l'engendrement de ces significations, et de décrire comment ces significations conduisent à des effets particuliers dans la situation susceptibles de renseigner notamment les contraintes de significations subséquentes des acteurs. Dans ce sens, même si nous n'en discutons pas directement dans la suite de la section, la construction de *cours d'action* et de leurs interférences via la médiation situationnelle est en soi une opération d'articulation de données en première et troisième personnes. Nous ne nous étendons pas sur ce mode d'articulation dans la mesure où les descriptions en troisième personne ne sont généralement l'objet ni d'un recueil sophistiqué de données (i.e., descriptions comportementales sommaires à partir de l'enregistrement vidéo de l'activité), ni d'une procédure spécifique d'identification de patterns comportementaux et/ou de la dynamique de ces comportements.

Ces propositions sont étayées de références à des *projets* qui anticipent la Partie 5 de la présente note de synthèse, dans la mesure où certains de nos projets actuels sont conduits en relation avec certaines des options introduites. Quatre propositions ont été retenues pour baliser le spectre des possibilités d'articulation des descriptions en première et troisième personnes (i.e., comportementales) en respect d'une approche éactive : *i)* une analyse disjointe des comportements et des subjectivités relevant d'un même terrain d'étude, *ii)* une analyse de la synchronisation pas-à-pas des dynamiques comportementales et subjectives, *iii)* un échantillonnage des données comportementales par la subjectivité, et *iv)* un échantillonnage de l'ensemble des données autour d'un événement comportemental.

ECLAIRER L'ACTIVITE COLLECTIVE PAR UNE « ANALYSE DISJOINTE DES COMPORTEMENTS ET DES SUBJECTIVITES RELEVANT D'UN MEME TERRAIN D'ETUDE ». Cette possibilité d'articulation se construit à partir de données recueillies sur le même terrain, relatives d'une part à la subjectivité des participants engagés dans cette activité (e.g., cours d'expérience des acteurs) et d'autre part à leurs comportements dans cette même activité (e.g., phase relative continue entre les comportements des acteurs). Toutefois, l'analyse va traiter ces deux corpus de données dans des analyses disjointes qui peuvent se conduire séparément. Les résultats respectifs des deux analyses vont ensuite s'informer mutuellement pour permettre, dans sa formulation minimale d'engager une discussion combinant les deux types de description, et dans une formulation avancée d'utiliser les résultats d'une des deux descriptions pour inspirer la conduite des analyses relevant de l'autre niveau de description.

A titre illustratif, les phénomènes observés en première personne peuvent servir à générer des hypothèses non directement tranchables à la seule lumière de ces données ; les données comportementales portant sur la même séquence d'activité peuvent alors être traitées pour approfondir/trancher les zones restées floues dans l'analyse subjectiviste. Ce type de démarche s'est illustrée récemment dans l'analyse de l'aviron (Sève et al., 2013). Les auteurs ont recueilli des données subjectives permettant de reconstruire les cours d'expérience de deux rameuses se coordonnant en situation naturelle d'aviron, complétées par des données mécaniques permettant de retracer la dynamique objective de leurs coups de rame. L'analyse des cours d'expérience a pointé que l'une des deux rameuses avait le sentiment récurrent d'être « poussée » par sa partenaire au cours de la séquence d'activité étudiée. Sur la base de cette analyse expérientielle, les auteurs ont investigué les données mécaniques correspondantes (i.e., les séries temporelles des forces et amplitudes des coups de rame au cours de la séquence d'activité), en les traitant comme un corpus autonome, mais dont l'analyse était susceptible d'éclairer la construction de significations observée en première analyse. Les auteurs ont ainsi montré que la description en troisième personne de cette

même séquence d'activité permettait d'expliquer la sensation récurrente de la rameuse essentiellement par une différence d'amplitude entre ses coups de rame et ceux de sa partenaire.

Un projet conduit actuellement dans l'analyse de l'apprentissage de la coordination interpersonnelle en situation naturelle d'aviron (R'Kiouak, 2014-2017) montre qu'un des deux rameurs fait l'expérience récurrente de « se faire tourner » par son partenaire en début de période d'apprentissage (i.e., devoir compenser la rotation du bateau par ses actions de rame). Cette expérience subjective disparaît après une période d'entraînement de six semaines. Les données mécaniques relevées sur le bateau lors de chacune des séquences d'entraînement considérées sont alors traitées avec l'ambition de rendre compte des contraintes mécaniques susceptibles de générer cette sensation et/ou de la faire disparaître. En somme, dans ce type d'articulation des registres de description, les données sont traitées séparément, le primat est donné à la dynamique du monde propre de chaque acteur, et les analyses comportementales viennent supporter/préciser/expliquer des phénomènes cognitifs dont l'intelligibilité est incomplète par la seule description subjectiviste. Symptomatique de cette modalité d'articulation, les deux registres de données ne nécessitent pas d'être synchronisés à chaque instant de l'activité ; il est suffisant qu'ils décrivent la même activité. La proposition suivante franchit une étape supplémentaire dans les éclairages mutuels que peuvent s'apporter les descriptions, et permet notamment de décrire comment des significations sont créées *dans* et *par* la coordination.

ECLAIRER L'ACTIVITE COLLECTIVE PAR UNE « ANALYSE DE LA SYNCHRONISATION PAS-A-PAS DES DYNAMIQUES COMPORTEMENTALES ET SUBJECTIVES ». Cette possibilité d'articulation consiste à conduire une description de la dynamique fine d'engendrement des significations des acteurs, à décrire finement la dynamique de leurs comportements (e.g., une mesure de phase relative continue pour décrire la dynamique de coordination interpersonnelle produite à chaque instant), et à synchroniser ces deux descriptions de sorte que le chercheur dispose, à chaque instant de l'activité étudiée, d'informations relatives à l'une ou l'autre des descriptions en première et troisième personne⁷. À la suite de cette synchronisation, le travail du chercheur est libre. Si la description en troisième personne est conduite dans une approche quantitative, les possibilités subséquentes d'analyse et de croisement des données sont riches. Il peut observer analytiquement l'aller-retour entre les deux ordres de phénomènes, ou bien conduire des analyses supplémentaires, dont certaines peuvent relever d'autres modalités d'articulation (cf. propositions à suivre). Un exemple de ce type d'articulation est présenté dans la Figure 14, issue du projet que nous conduisons actuellement dans l'analyse des coordinations interpersonnelles en aviron (Bourbousson et al., soumis).

⁷ C'est sur ce registre que la construction d'un *cours d'action* est supposée se réaliser, même si le caractère outillé de la description des données en troisième personne n'est pas systématique.

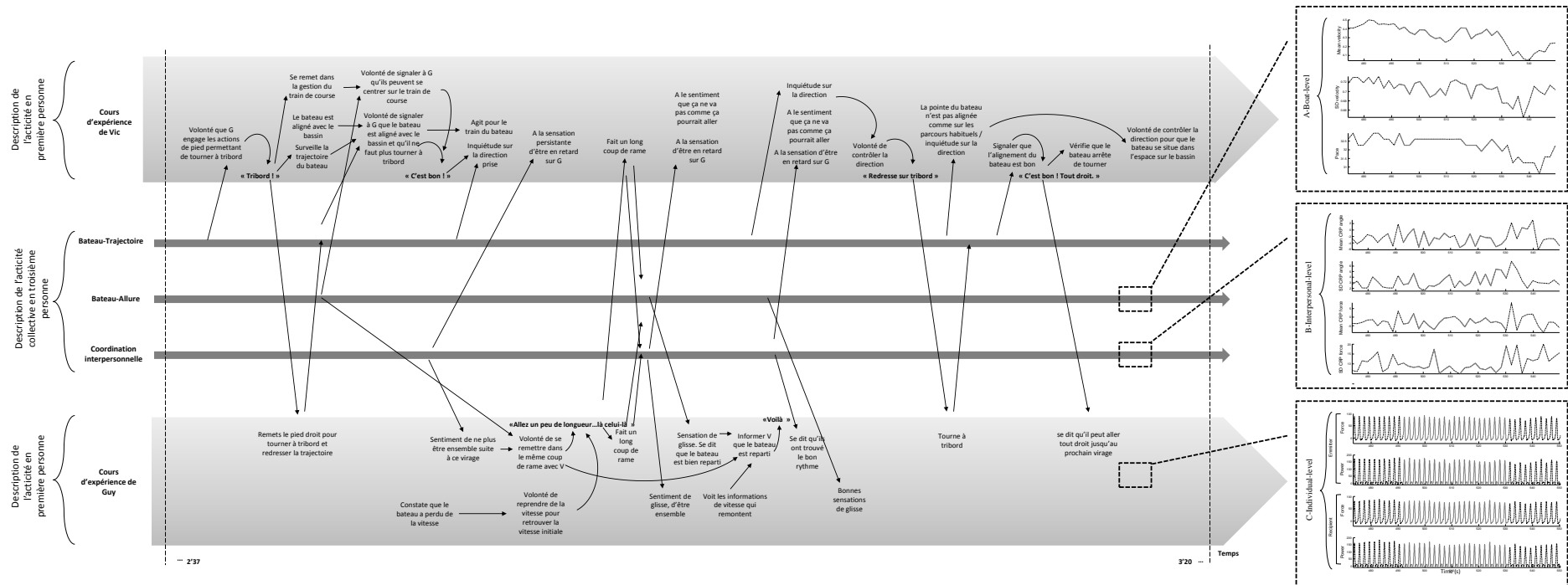


Figure 14. Illustration de l'articulation pas-à-pas des descriptions en première et troisième personne dans l'analyse d'un segment d'activité en aviron (à partir du projet Bourbousson et al., soumis). Un compte-rendu synthétique des cours d'expérience des rameurs encadrent (haut et bas) la dynamique mécanique analysée à différents niveaux d'analyse.

Cette Figure fait apparaître à ses extrémités supérieure et inférieure une représentation synthétique des cours d'expérience des rameurs. En son centre la dynamique mécanique du bateau à différents niveaux d'analyse. Les flèches rendent compte de la manière dont l'activité signifiante de chaque rameur s'insère temporellement (e.g., contraint/est contrainte par) dans la dynamique globale d'activité. Cette Figure illustre finalement comment ce type d'analyse permet une description de la manière dont les significations sont construites *dans* et *par* la coordination (De Jaegher & Di Paolo, 2007).

ECLAIRER L'ACTIVITE COLLECTIVE EN « ECHANTILLONNANT LES DONNEES COMPORTEMENTALES PAR LA SUBJECTIVITE ». Dans cette forme d'articulation, les données supportant le cœur des analyses sont essentiellement les données en troisième personne. Pour autant, ces données en troisième personne vont être « indexées » et « subordonnées » à des données en première personne qui vont venir *qualifier* les échantillons de données quantitatives. Pour cela, les données subjectives sont considérées en premier lieu (e.g., thématisées, différenciées) de façon à permettre la discrimination de plusieurs régimes subjectifs d'activité collective (e.g., co-régulation/régulation unidirectionnelle). Une fois ces catégories basées sur les données en première personne identifiées, des segments de dynamiques d'activité vont être délimités qui renvoient alternativement à l'une ou l'autre des modalités subjectives. Ces segments d'activité, pour lesquels une description en troisième personne est disponible, vont servir à constituer des échantillons de données comportementales quantitatives (i.e., échantillonnées par la subjectivité). De la sorte, les échantillons contiennent exclusivement des données en troisième personne, et seront traités à l'aune des traitements pertinents pour ce type de données (e.g., statistiques inférentielles). Pour autant, chaque échantillon contient en lui-même une description en première personne, puisque constitués à partir des données subjectives associées.

La constitution de ces échantillons peut être obtenue à moindres frais si la phénoménologie des participants est constitutive du dispositif expérimental par exemple. Elle peut être plus coûteuse si une analyse sophistiquée de la subjectivité des participants est requise en étape préalable à l'échantillonnage. Pour illustrer les cas où le dispositif expérimental inclut un échantillonnage par la subjectivité, une étude a confronté des sujets à des perceptions d'images ambiguës (i.e., visages peints avec un haut-contraste) tout en mesurant leur activité neuronale (i.e., mesures en troisième personne) (Rodriguez, George, Lachaux, Martinerie, Renault, & Varela, 1999 ; Thompson & Varela, 2001). Lorsque les sujets identifiaient un visage ils signalaient qu'ils avaient fait l'expérience d'une reconnaissance de figure. Ensuite, deux échantillons ont été constitués qui séparaient les essais correspondant à la reconnaissance de la non-reconnaissance de visages. Les résultats ont montré

que les signatures neuronales étaient distinctes entre les deux échantillons, illustrant ainsi une manière d'intégrer des données expérientielles dans la procédure d'échantillonnage pour conduire ensuite une analyse centrée sur des données de neuro-imagerie.

Le projet que nous développons actuellement sur la coordination interpersonnelle en aviron (R'Kiouak, 2014-2017 ; R'Kiouak et al., soumis) illustre une procédure d'échantillonnage des données en troisième personne demandant des traitements préalables plus denses appliqués aux données subjectives. Après une course en situation naturelle sur un bateau équipé d'un système de capture des mouvements de rames, une description en première personne de l'activité de chaque rameur est obtenue à l'aide d'entretiens d'autoconfrontation et d'une modélisation analytique permettant de reconstruire le *cours d'expérience* de chaque rameur (Theureau, 2006). Sur cette base sont identifiés les segments d'activité vécus simultanément par les rameurs comme étant des périodes de fonctionnement optimal, et ceux vécus simultanément comme « posant problème ». Ces deux régimes subjectifs d'activité servent à construire des échantillons de données correspondant terme à terme aux segments d'activité retenus (i.e., identification des time codes associés aux bornages des régimes subjectifs d'activité), et contenant toutes les données mécaniques recueillies (e.g., forces et amplitudes des coups de rame, vitesses instantanées du bateau). Ensuite, sans détailler ici les traitements, les échantillons respectifs sont comparés pour en extraire les signatures comportementales (i.e., mécaniques) qui permettent de discriminer les deux jeux de données. Les éléments discriminants identifiés permettent ensuite de revenir à la logique des données subjectives initiales et de les discuter en considérant la spécificité de leurs corrélats comportementaux. Plusieurs projets sont actuellement conduits qui mobilisent ce mode d'articulation des données en première et troisième personnes (Bourbousson, 2016-2020 ; Saury et al., en préparation). Un exemple détaillé est fourni dans la Partie 5 de cette note de synthèse, notamment le projet relatif à la compréhension des modes de régulation permettant l'émergence de comportements collectifs stables (Bourbousson, 2016-2020) dans lequel les modes de régulation sont identifiés à partir d'une description préliminaire en première personne, servant à échantillonner les données de trajectographie des participants qui sont ensuite traitées à l'aune des outils de la théorie des systèmes dynamiques.

ECLAIRER L'ACTIVITE COLLECTIVE EN « ECHANTILLONNANT L'ENSEMBLE DES DONNEES AUTOUR D'UN EVENEMENT COMPORTEMENTAL ». Cette forme d'articulation des données en première et troisième personnes, plus sophistiquée, puise dans certaines des formes précédentes. Le point d'entrée du recueil de données est de l'ordre d'une description en troisième personne, à partir de laquelle on repère une saillance dans ces données autour de laquelle vont s'organiser les échantillonnages et traitements subséquents. L'événement repéré comme point de départ exhibe une pertinence

situationnelle (i.e., ayant une saillance objectivable). De cet événement va ensuite être démêlée la logique subjective sous-jacente ainsi que ses corrélats comportementaux.

Dans le cas d'une étude des comportements collectifs, la saillance situationnelle retenue est de l'ordre de l'événement social, c'est à dire relève de la rencontre sociale observable dans les comportements de coordination des acteurs (De Jaegher & Di Paolo, 2007). La pertinence des bornes d'encadrement de l'événement dépend de l'objet d'étude : si la compréhension d'une crise d'épilepsie demande de considérer plusieurs heures préalables à l'événement (e.g., Petitmengin et al, 2007), la compréhension d'une rupture spatiotemporelle de coordination entre un attaquant et un défenseur dans un match de football appelle une fenêtre plus resserrée. A partir de ce point d'entrée et de ses bornes d'étude, une description fine de la dynamique d'articulation des données subjectives et comportementales est conduite autour de cet événement. Le registre des données en troisième personne mobilisées pour conduire l'analyse fine de l'événement ne recouvre pas nécessairement le registre des données ayant permis l'identification de l'événement : par exemple, retenir (par un regard de juge-expert) les passes manquées en rugby peut servir d'événement témoin d'une rupture de coordination entre des partenaires, et être analysé par des données de trajectographie (i.e., n'ayant pas servi à identifier les passes manquées). Autour de chaque événement comportemental se délimite donc une séquence d'activité pour laquelle l'analyste dispose de données subjectives et comportementales. La dynamique propre de chaque séquence d'activité (i.e., de chaque événement) est traitée en elle-même sur une modalité choisie : par exemple, le chercheur identifie la nature des préoccupations des participants qui précèdent et succèdent à l'événement, associées aux propriétés des patterns de coordination spatiotemporelle simultanés. Le primat de l'intrinsèque peut ensuite être maintenu en regroupant les séquences d'activité renvoyant à des mondes propres similaires, pour discuter ensuite les corrélats comportementaux des échantillons ainsi construits. Cette forme d'analyse permet l'identification d'un (ou plusieurs) pattern(s) d'articulation des modalités subjectives et comportementales associés à l'occurrence dudit événement social. En dernière étape, l'événement comportemental ayant prévalu au séquençage initial de l'activité est interprété/discuté au regard des deux registres de données.

La pertinence de l'événement social retenu est de toute première importance. Il peut être pensé pour répondre à des enjeux pratiques ou théoriques. Pour illustrer le travail autour de saillances comportementales ayant des enjeux théoriques, Di Paolo & De Jaegher (2010) suggèrent que les transitions de coordination (i.e., passage d'un état de coordination interpersonnelle à un autre état de coordination interpersonnelle) soient des moments-clés de la rencontre sociale susceptibles d'exhiber des propriétés singulières en termes de participation à la construction de significations. Par exemple, les auteurs suggèrent que l'analyse de la transition entre un état de

coordination absolue (i.e., une coordination à faible variabilité et construite sur un couplage ténu des composants) et un état de coordination relative (i.e., une coordination à forte variabilité autour d'un état stable difficile à maintenir), repérée à partir de données en troisième personne, soit une saillance-clé de la rencontre sociale dont les ressorts sont non investigués à ce jour. Un projet d'analyse de l'aviron en situation naturelle (R'Kiouak, 2014-2017) est conduit actuellement et susceptible d'éclairer cette problématique, dans la mesure où la coordination des rames dans l'eau (i.e., le *drive*) ne possède pas les mêmes traits de variabilité que la coordination des rames sur le retour. Ainsi, une analyse organisée autour de *l'entrée dans l'eau* comme événement social concrétise cette modalité d'articulation des descriptions en première et troisième personne.

Egalement, dans une visée plus pratique, un projet considère les communications verbales comme des saillances comportementales de la dynamique de coordination interpersonnelle en situation naturelle d'aviron, et signant un événement social d'intérêt pour la psychologie appliquée du sport. Le détail de ce travail est fourni dans la Partie 5 de cette note de synthèse. L'activité collective a été séquencée sur un empan de trois secondes autour de chaque communication verbale. Pour chacune de ces séquences, l'analyse des cours d'expériences des deux rameurs permet d'identifier les effets attendus de chaque communication du point de vue de l'émetteur⁸ de la communication, la manière dont la communication était interprétée par le receveur ainsi que les changements dans son activité signifiante. Les données mécaniques recueillies sur le bateau et les amplitudes/forces des coups de rame permettent ensuite d'analyser et de discuter les corrélats comportementaux de cette dynamique intersubjective.

VARIÉTÉ DES POSSIBILITÉS D'ARTICULATION. Au-delà des jalons proposés ci-dessus, le spectre des possibilités d'articulation de descriptions en première et troisième personne est large, et peut être l'objet de différents degrés de raffinement. Sans organiser les lignes de notre recherche, d'autres options méritent d'être commentées. La première, présentée par Gallagher (2003) comme largement critiquée et problématique d'un point de vue phénoménologique est appelée *phénoménologie rétrospective et indirecte*. L'approche phénoménologique est mobilisée en aval d'un protocole expérimental pour mener une critique/ouverture de la discussion des résultats obtenus à ses corrélats dans l'expérience subjective humaine. Cette approche est courante chez les philosophes qui usent de la phénoménologie pour réinterpréter des résultats expérimentaux et proposer des alternatives explicatives. Rares sont les investigations empiriques qui viennent subséquemment instancier les hypothèses générées par l'analyse phénoménologique critique. Gallagher présente ensuite une autre approche faisant un usage plus direct de la phénoménologie, c'est-à-dire en amont

⁸ Nous reprenons cette terminologie par commodité, sans pour autant signifier le recours à une théorie computationnelle et séquentielle de la communication.

de la conduite d'une étude empirique (Gallagher, 2003). Dans cette approche, les résultats d'investigations phénoménologiques sont convoqués pour mieux penser/construire les investigations expérimentales (e.g., délimiter la nature des instructions données aux sujets). Par exemple, des concepts phénoménologiques maîtrisés (e.g., *agentivity*) servent à construire un contexte épistémologique dont l'expérimentation vise ensuite l'instanciation. Cette approche ne nécessite pas le recueil de comptes-rendus en première personne auprès des sujets engagés dans la tâche. La subjectivité des sujets est supposée connue dans sa structure par le cadre phénoménologique préalable fixant le contexte théorique et le rationnel de l'étude, et connue dans son contenu par le contrôle des variables (ou bien l'expérimentation n'a pas besoin du contenu expérientiel pour établir ses conclusions).

Finalement, nous ne sommes pas revenus sur une autre option déjà évoquée, telle que conduite par Poizat et ses collaborateurs (Poizat et al., 2012). Considérant l'activité collective située de coordination interpersonnelle en tennis de table en double, les auteurs (dont nous-mêmes) ont conduit une analyse des données en première personne recueillies à partir d'entretiens d'autoconfrontation afin d'en extraire des patterns interpersonnels de *compréhension partagée*. Simultanément, une analyse disjointe des patterns comportementaux a été conduite à partir de méthodes ethnométhodologiques d'identification des structures d'interaction. Les deux types de patterns sont ensuite combinés/mis en correspondance pour identifier des formes typiques de corrélation entre les deux registres de données. Aussi intéressante que soit cette solution, nous avons fait le choix de conduire des analyses désormais plus quantitatives et ouvertes à la mobilisation de statistiques inférentielles, les plus à-mêmes selon nous de traiter des questions relatives à une approche des équipes comme systèmes complexes adaptatifs, telles que l'organisation multi-niveaux de l'activité, les relations d'interférences entre ces niveaux, les perturbations, transitions, et stabilité de la coordination.

PARTIE 4 - CHAPITRE 2

DE L'ETUDE DES SITUATIONS NATURELLES A CELLE DES SITUATIONS

CONTROLEES



« Lorsqu'on en reste à un modèle empirique analytique, la validation (falsification) des catégories descriptives, déjà amorcée dans l'analyse des données empiriques qui a été effectuée pour construire le modèle, est étendue grâce à l'analyse inventive de nouvelles données empiriques. La seule différence entre la première analyse inventive et la seconde réside en ce que la seconde part d'un passé - en l'occurrence d'un état théorique et méthodologique - qui inclut les résultats de la première. De plus, certains éléments du modèle analytique considéré peuvent éventuellement donner lieu à une validation (falsification) statistique complémentaire. On voit d'emblée la limite a priori de la méthode analytique : son point de départ dans l'analyse de données empiriques toujours limitées. D'où le débat entre les tenants des deux méthodes, les premiers, les tenants de la méthode synthétique, pointant la difficulté à généraliser des seconds, ces derniers rétorquant que la généralité a priori des premiers aboutit à des modèles synthétiques et analytiques - et donc des hypothèses - souvent pauvres et non pertinents. Lorsqu'il y a un réel effort de validation (falsification) de ces modèles, ce débat débouche en général sur une certaine articulation des deux méthodes. » (Theureau, 2006, p. 346)

Le présent chapitre détaille les conditions épistémologiques du passage de l'étude de l'activité collective en situation naturelle à la modélisation de cette activité collective en situation contrôlée. Le travail empirique conduit jusqu'à maintenant a privilégié l'étude des situations naturelles de coordination spatiotemporelle dans des pratiques sportives (i.e., contexte compétitif réel) pour plusieurs raisons. La première, liée à l'état des connaissances scientifiques disponibles sur nos objets d'étude, renvoie à la visée exploratoire de nos études destinées à générer des hypothèses ouvertes sur l'activité-cible. Ces hypothèses ont été construites dans une logique relativement inductive d'investigation, à partir des phénomènes naturels visés par la description. La seconde, d'ordre théorique, renvoie aux implications fortes de l'hypothèse du caractère *situé* de la cognition sur les conditions de son étude : si l'activité est un couplage structurel du système dans un environnement singulier qui en détermine le déroulement, alors la perspective de(s) l'acteur(s) qui est renseignée par l'analyste porte la marque de cet environnement. Il est ainsi bénéfique de préserver autant que possible le contexte naturel d'occurrence de l'activité-cible, pour construire des hypothèses sur des phénomènes cognitifs d'intérêt. Les études de ce type sont généralement plus coûteuses en temps et en énergie pour appréhender le fonctionnement d'un sujet que ne le sont les protocoles expérimentaux (se permettant en conséquence une passation multiple de sujets).

Conséquence de l'étude des situations naturelles, nos travaux ont privilégié la conduite d'*études de cas*. Ces études de cas ont l'avantage de préserver l'authenticité de l'activité-cible, mais offrent peu de possibilités pour tester/vérifier/préciser certaines hypothèses préalables et des possibilités restreintes de produire des résultats exportables à d'autres terrains (i.e., intégrant à la fois des possibilités de généralisation et de modélisation des résultats). Dans la mesure où notre ligne

de recherche vise un dépassement de l'étude de cas pour un gain en contrôlabilité, en modélisation et donc en généralisation, nous posons dans les sections suivantes les conditions de possibilité de ce dépassement, qui respecte les conditions d'une approche énaactive des couplages sociaux. Pour cela, sont introduits *i)* les ressorts de validité/intérêt des études de cas, *ii)* les conditions d'un contrôle plus resserré des variables d'intérêt, *iii)* la logique et l'intérêt de la modélisation mathématique au regard de nos questions de recherche et d'une approche énaactive des couplages sociaux, et *iv)* le gain en possibilités d'extension en direction des sciences du numérique.

DE L'ÉTUDE DE CAS...

Pour décrire les ressorts épistémologiques des études de cas nous nous appuyons pour beaucoup sur le travail de David (2004) qui propose une analyse synthétique et contextualisée des travaux de Yin (1990). L'étude de cas consiste en l'étude d'une situation empirique singulière à partir de laquelle l'analyste fait des conjectures sur les relations qu'entretiennent les choses. Les études de cas peuvent prendre différentes « fonctions » (David, 2004). Elles peuvent être *intrinsèques* si le terrain d'étude a une valeur propre, par sa rareté, son improbabilité, sa nouveauté. Ces études visent la description du cas en lui-même dans sa singularité. Elles peuvent être *collectives* lorsqu'elles multiplient les cas pour circonscrire le phénomène à partir de cas multiples. Enfin, comme l'étaient nos études de cas, elles peuvent être *instrumentales* lorsque les terrains étudiés visent moins la compréhension du cas en lui-même qu'un phénomène particulier (i.e., un objet d'étude indexé à une théorie incomplète de cet objet) susceptible de s'exprimer pleinement dans le cas sélectionné. Ensuite, les études de cas peuvent avoir différentes « visées épistémiques ». Elles peuvent viser la vérification en contexte réel de la probabilité d'hypothèses existantes (i.e., *pattern matching*) ou bien la construction d'hypothèses (partiellement) nouvelles susceptibles d'éclairer d'un regard nouveau l'objet d'étude retenu (i.e., *pattern making*). La faible littérature existante et le caractère exploratoire de nos études de cas fait qu'elles ont été construites en visant la construction d'hypothèses partiellement nouvelles relatives à l'activité collective en sport collectif. Finalement, les études de cas opèrent un choix de la situation d'étude à partir de la « fonction du cas » souhaitée. L'étude peut se construire sur la sélection d'un cas *illustratif* : le cas sert à faire comprendre une théorie ; un cas *typique* : le cas se veut particulièrement représentatif d'une population ou sous-population identifiée ; un cas *test* : le cas est sélectionné pour tester la vraisemblabilité d'une théorie ; ou un cas *inédit* : le cas est retenu pour sa rareté, son caractère non-typique. Nos cas ont été systématiquement choisis pour leur caractère typique des équipes fortement interdépendantes, entraînées à se coordonner pour faire face à l'incertitude de la compétition, et agissant dans un contexte offrant peu d'opportunités de communications verbales.

Les possibilités de dépassement de l'étude de cas puisent une partie de leur logique dans la question de la généralisation des résultats. Nous partons de ce qu'est la généralisation pour envisager les conditions d'un gain dans l'étude des situations contrôlées.

GENERALISATION DES RESULTATS : L'ÉTUDE DE CAS N'A PAS A ROUGIR DE SES PRETENDUES « FAIBLESSES ». Un des enjeux centraux du dépassement de l'étude de cas s'appuie sur la distinction entre généralisation verticale et horizontale, indispensable pour délimiter la nature du gain escompté dans l'étude des situations contrôlées.

Deux types de généralisation d'une étude peuvent être distingués (et ce, indépendamment des questions spécifiques aux études de cas). Premièrement, on entend par *généralisation verticale* (ou généralisation analytique) la capacité de l'étude à produire des résultats exportables en direction d'une théorie générale du phénomène qu'elle investigate. Autrement dit, la généralisation verticale d'une étude est sa propension à fournir des résultats ayant une portée plus générale que l'empirie située et délimitée du phénomène qu'elle connaît. Dans les sciences expérimentales, cette généralisation verticale touche surtout à la contribution de l'étude à une théorie ou à un modèle général, par exemple en passant par la mesure de la puissance statistique de l'étude construite (i.e., permettant d'estimer le risque d'établir des conclusions sans se tromper). Pour ce qui est de l'étude de cas, ce processus de généralisation verticale se discute alternativement selon la fonction qui est attribuée à l'étude de cas. Dans les études de cas *instrumentales* (i.e., nos études de cas étaient instrumentales), ce passage du terrain de l'étude aux apports à une théorie intermédiaire (ou générale) de l'objet d'étude est posé d'emblée comme un enjeu, et se fait par une procédure dite de *pattern making*. Loin d'être une construction d'hypothèses formulées *in extenso* (e.g., comme dans certaines ambitions de la *grounded theory*), ce travail se réalisait en adhérant à un programme de recherche formalisé qui fournissait une théorie générale de l'activité humaine et un modèle analytique générique pour réaliser les descriptions du cas. L'identification des hypothèses de substance de notre programme de recherche qui sont non documentables ni réfutables empiriquement (i.e., notre « théorie minimale ») permet d'éviter de construire sur la base de nos études des élaborations théoriques tautologiques (Theureau, 2006). Ainsi, nos élaborations théoriques permettaient essentiellement de construire des hypothèses nouvelles relatives à notre objet d'étude, plutôt que sur la nature de l'activité humaine (i.e., fixée pour sa part dans la théorie éactive de l'activité humaine).

Deuxièmement, on entend par *généralisation horizontale* (ou généralisation statistique) la capacité de l'étude à produire des résultats exportables en direction d'autres cas. Dans les sciences expérimentales, cette généralisation horizontale concerne l'extension des résultats observés dans un

échantillon à d'autres individus statistiques. Cette question touche généralement à la question de la *représentativité* de l'échantillon de sujets étudié : e.g., les connaissances construites sur les sujets participant à l'étude sont-elles exportables à une population plus générale ? Bien qu'elles ne soient pas toujours mobilisées, des procédures de sélection des sujets peuvent par exemple être mises en place pour discuter/accréditer ce lien. Pour ce qui est des études de cas, la question de la généralisation horizontale peut être réglée de deux manières. La première consiste à donner à l'étude de cas une fonction exclusivement exploratoire en termes d'hypothèses sur l'objet d'étude, faisant tomber la nécessité d'une généralisation horizontale (i.e., en ne visant qu'une généralisation verticale). La seconde est d'intégrer cette exportabilité horizontale dans la manière dont est construite l'étude. Sur ce point, deux éléments sont généralement avancés. Le premier est de sélectionner/argumenter son cas comme étant *typique*, et donc susceptible de révéler des phénomènes exportables au *type* dont il dépend (i.e., sa population). Sur ce point, nos études de cas ont travaillé le caractère typique des cas retenus sur la base de leurs caractéristiques contextuelles (e.g., contexte compétitif, peu d'opportunités de communications verbales) et des propriétés supposées de l'équipe en question (e.g., nombre de membres, degré d'interdépendance permis dans les activités, degré d'expertise), permettant une extension raisonnée de nos résultats à des cas jugés similaires. Le deuxième élément peut être de viser des études de cas *collectives*, multipliant les cas étudiés pour délimiter dans le même temps les conditions de cette exportabilité horizontale. Des réserves importantes existent sur cette deuxième manière de considérer la généralisation horizontale (David, 2004), conduisant à une impasse épistémologique et pratique (i.e., condamnée à aller jusqu'à l'étude de centaines de cas pour finaliser la démarche de validation). Pour autant, l'intérêt d'une multiplication des études de cas ne doit pas à être négligé totalement si elle est conçue à l'échelle de chercheurs différents multipliant les cas étudiés au cours de l'histoire dans un « processus collectif et diachronique » de généralisation horizontale (David, 2004).

En somme, l'étude de cas n'a pas à rougir de son potentiel de généralisation. Les niveaux verticaux et horizontaux de généralisation sont l'objet d'une rationalisation fondée sur d'autres critères que ceux mobilisés dans les études expérimentales. Les reproches faits à l'étude de cas quant à un manque de généralisation assimilent généralement le *cas* de l'étude de cas à l'*individu statistique* de l'étude expérimentale, alors que le cas et sa relation à la population générale équivaut à la relation qui relie l'*échantillon* à la population (i.e., relation pour laquelle l'étude expérimentale n'est généralement pas plus outillée que l'étude de cas). Pour autant, c'est bien pour des limites dans le processus d'exportabilité des résultats que nous ambitionnons de dépasser les conditions de construction des études de cas. Ces limites résident dans l'un des rouages de la généralisation horizontale.

DIFFICULTE LOGIQUE A FONDER LA GENERALISATION HORIZONTALE SUR LE CARACTERE « TYPIQUE » DU

CAS. Pour rappel, nous avons fondé jusqu'à maintenant le processus de généralisation horizontale sur le caractère *typique* des cas retenus. Le cas est choisi pour les traits et propriétés qui le caractérisent. Ces traits renvoient à un *type* qui constitue la population (i.e., plus ou moins étendue en fonction du type) vers laquelle les résultats seront exportables. Dans la mesure où la procédure d'identification/délimitation du cas à étudier se fait nécessairement en amont de l'étude, les caractéristiques du cas sont essentiellement retenues à partir du *contexte* dans lequel opère le cas (i.e., sous réserve que ce contexte soit relativement stable pour pouvoir être anticipé), ou des *propriétés intrinsèques* supposées stables du cas (e.g., degré d'interdépendance de l'équipe pour nos études). La difficulté logique réside dans le paradoxe suivant : d'un côté l'approche énaïve suppose que l'interaction située prévaut sur les propriétés de pré-coordination (i.e., les *inputs*), et de l'autre nous basons la généralisation horizontale (qui n'est pas des moindres dans les ambitions scientifiques d'un travail) sur le caractère typique de ces *inputs* (i.e., contexte et propriétés intrinsèques du cas). Dans cette perspective, notre ambition est de fonder la généralisation horizontale de nos études sur les propriétés *situées* des cas plutôt que sur leurs traits structurels. Cette perspective n'impose pas *ipso facto* une démarche expérimentale de laboratoire ; elle suppose cependant un contrôle minutieux des variables situationnelles impliquées.

...AU CONTROLE DES VARIABLES

A partir de cette description des conditions de construction de l'étude de cas, nous avançons l'intérêt de contrôler plus intensément les variables en jeu dans les situations d'étude, que ce soit dans une démarche *i*) de contrôle *a posteriori* des différentes conditions situationnelles, ou *ii*) de contrôle *a priori* de ces variables, c'est-à-dire plus ouvertement expérimentale.

CONTROLLER A POSTERIORI LES VARIABLES POUR RETENIR LES DONNEES D'INTERET. Nous retenons de la section précédente que le caractère typique de nos données doit être décrit à l'aune de l'activité située qui s'opère et non de l'activité théorique supposée s'opérer au regard des caractéristiques contextuelles anticipées ; alors nos données d'intérêt méritent d'être construites/sélectionnées à partir de variables situationnelles. A titre illustratif, plutôt que de décrire le type d'équipe et le contexte social dans lequel se produisent les phénomènes cognitifs observés, la description des propriétés spatiotemporelles situées dans lesquelles les phénomènes cognitifs apparaissent permet de construire le caractère typique des observations sur des variables situationnelles (e.g., l'analyste souhaite identifier les processus cognitifs prévalant à un « comportement collectif perturbé »).

L'ambition d'une focale « situationnelle » peut s'opérationnaliser dans une démarche qui consiste à ne pas contraindre le déroulement des phénomènes, à observer l'activité en condition naturelle, et à caractériser les propriétés du contexte situé des phénomènes cognitifs (i.e., la situation réelle et locale d'occurrence). De cette manière, et de façon prévisible, les segments d'activité d'intérêt vont apparaître, disparaître, réapparaître, puisque le caractère typique de l'activité située n'est pas anticipable totalement –à l'inverse, dans la logique classique de l'étude de cas, l'ensemble de l'activité du cas était généralement traité puisque le contexte d'intérêt était supposé stable. De là, ne sont retenus de cette caractérisation, que les segments de données qui renvoient au *type* ciblé par les intérêts de l'étude. Se réalise ainsi une forme d'échantillonnage *a posteriori*, un *contrôle a posteriori des variables* indépendantes constituant les échantillons de données.

Nous conduisons actuellement un projet qui adopte cette démarche (Bourbousson, 2016-2020 ; Feigeau, 2015) et qui vise à laisser opérer les phénomènes, pour ne retenir ensuite que les données d'intérêt. Focalisés sur les modes de (co-)régulation sous-jacents à l'émergence de comportements collectifs stables ou perturbés, nous analysons les données de trajectographie *a posteriori* pour identifier, par exemple, les séquences de perturbation du comportement collectif. Disposant de description en première et troisième personnes relatives aux séquences sélectionnées, l'analyse peut ensuite être conduite de façon variée. Puisque les séquences de données traitées sont sélectionnées sur des variables situationnelles, la démarche contribue à actualiser une approche respectueuse des hypothèses situées impliquées par l'hypothèse du couplage structurel, et promet *in fine* des résultats typiques de « situations de coordination spatiotemporelle perturbées ».

Bien qu'elle puisse se réaliser dans l'analyse de situations naturelles et avec une seule équipe comme terrain d'étude, cette approche se place en marge des études de cas proprement dites. En effet, l'unité d'intérêt devient un *cas* « *occurrent dans le cas* », un segment de données extrait de la dynamique complète d'activité. Le *cas* classique (e.g., une équipe de basketball) devient l'environnement et non l'objet de l'analyse. De la sorte, retenir multiples segments d'activité conduit à la constitution d'un (ou plusieurs) échantillon(s) et ouvre l'analyse à des approches variées. Si cette manière de construire les observations permet une forme d'échantillonnage contrôlé de l'activité, la volonté de maintenir la relation entre l'activité étudiée et sa situation naturelle d'occurrence conduit l'analyse dans une voie intermédiaire et partielle de contrôle des variables.

L'IMPASSE RELATIVE DE LA RECHERCHE DE CAS MULTIPLES SUSCEPTIBLES DE FAIRE APPARAÎTRE EN NOMBRE SUFFISANT LES SEGMENTS D'ACTIVITÉ D'INTERET POUR L'ANALYSE. La logique de contrôle *a posteriori* des variables sur des activités produites en situation conduit à viser la multiplication des terrains pour multiplier les observations retenues, c'est-à-dire pour multiplier les segments d'activité relevant du *type* voulu et ainsi accroître les chances du chercheur d'observer en nombre suffisant les phénomènes à décrire ou à expliquer (en présupposant que le nombre d'observations importe pour la puissance des conclusions de l'étude). Cette logique, sans être impossible, nous semble constituer une forme d'impasse épistémologique et pratique que nous avons déjà décrite pour la généralisation horizontale par l'étude de cas *collective*, dès lors que le chercheur n'a pas, dès le début, de garanties suffisantes sur les probabilités d'apparition du phénomène visé. Par exemple, ce type de démarche ne permet pas au chercheur de prédire la puissance statistique de son étude, rendant la planification du travail complexe et conduisant à devoir « naviguer à vue ». La deuxième manière de contrôler les variables situationnelles constituant les observations est particulièrement pertinente pour l'étude des phénomènes dont les modalités d'occurrences sont peu connues. Dans cette procédure, l'apparition desdites occurrences est stimulée par un contexte de contrôle *a priori* des phénomènes dans une situation d'étude expérimentale.

CONSTRUIRE UN PROTOCOLE EXPERIMENTAL QUI NE RUINE PAS L'ACTIVITE-CIBLE. En respect de l'hypothèse située de l'activité cognitive, le maintien de la validité écologique des phénomènes investigués peut conduire, dans sa version radicale, à une certaine réserve quant aux démarches de contrôle *a priori* des variables, et dans sa version constructive à une réflexion sur les propriétés des situations d'étude susceptibles de ne pas ruiner les caractéristiques-clés de l'activité visée. L'identification des propriétés fondamentales de cette activité-cible est utile à une démarche qui ambitionne leur préservation. Sur ce point, nous avons défini les phénomènes de cognition collective comme relevant fondamentalement d'une *activité* indexée à un *contexte*, appréhendée au filtre de la *dynamique* des *interactions* situées, organisées à *différents niveaux d'analyse*, et régie par les *significations* construites par les protagonistes. Dans cette perspective, un projet a été récemment construit dans l'objectif de créer une situation d'étude qui permette le contrôle de diverses variables *a priori* (Bourbousson, 2016-2020). Ce projet est présenté dans ses détails en Partie 5. La Figure 15 illustre le type de situation contrôlée visée.

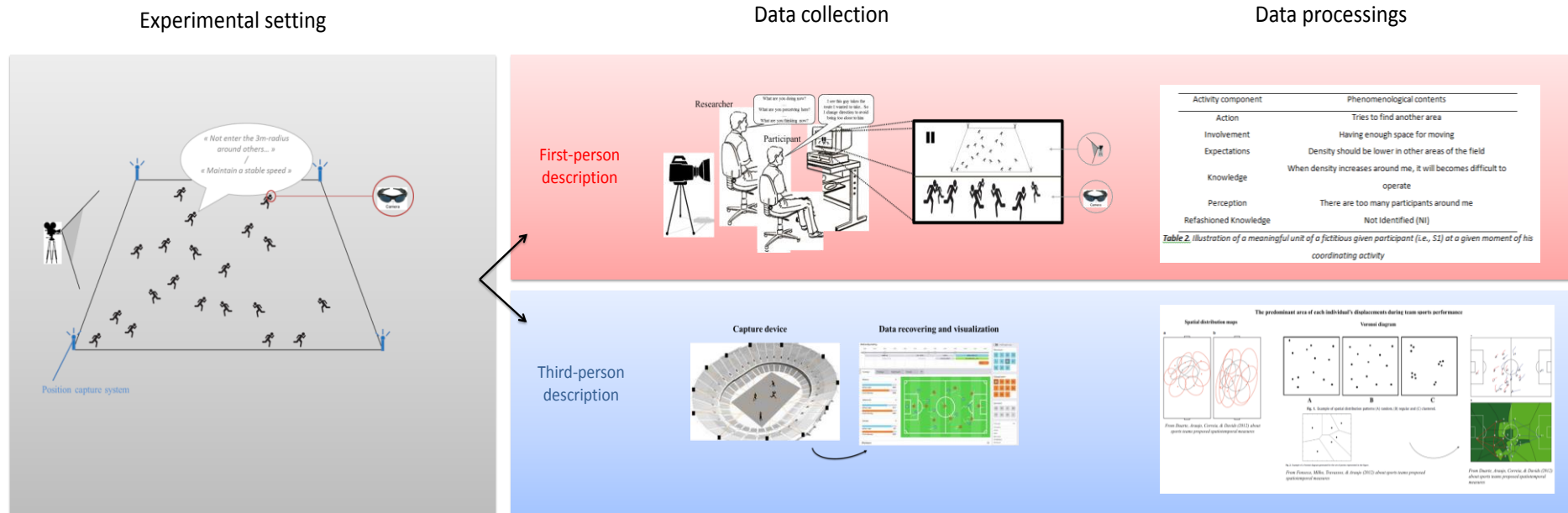


Figure 15. Illustration du type de situation expérimentale servant à l'analyse des comportements collectifs et de leurs modes de (co-)régulation. Le protocole permet le recueil et l'analyse de descriptions en première et troisième personnes.

La situation décrite ci-dessus est propice à l'analyse de la cognition collective telle que nous l'ambitionnons, et ce, pour plusieurs raisons : *i)* le recours à une mise en situation de coordination spatiotemporelle permet l'étude de l'activité collective (et non de construits cognitifs), *ii)* la capture des phénomènes dans leur dynamisme propre permet le maintien d'une approche idiographique, respectueuse de la dynamique de la variabilité intra-individuelle (i.e., l'individu est un groupe), autorisant dans un deuxième temps des traitements transversaux inter-individuels (i.e., inter-groupes), *iii)* les interactions sont capturées/modélisées à partir des outils de la théorie des systèmes dynamiques permettant d'opérer la synthèse entre les données subjectives et comportementales dans une épistémologie surplombante (Froese & Fuchs, 2012), *iv)* le nombre important de membres qui se coordonnent et qui sont impliqués dans le comportement collectif permet une investigation variée des niveaux d'organisation du comportement collectif (et des relations entre ces niveaux), *v)* l'intégration de recueils de données en première personne permet de considérer le monde propre dans lequel chaque participant agit et un *échantillonnage par la subjectivité* (cf. Partie 4, Chapitre 1) assure le maintien du primat de l'intrinsèque dans les traitements des données en troisième personne opérés, et enfin *vi)* l'indexation de toutes les données phénoménologiques à leur contexte spatiotemporel d'occurrence (via la capture continue de données de trajectographie) permet de considérer l'hypothèse d'une activité couplée à son contexte d'occurrence.

Ensemble, ces éléments permettent de conduire l'étude des couplages sociaux en respectant une approche énaactive, et en maintenant un primat donné à la variabilité intra-individuelle sur la variabilité interindividuelle (Arrow et al., 2000 ; Roe et al., 2012).

Le choix méthodologique le moins anodin réside dans la focalisation sur la dimension spatiotemporelle de l'activité collective (i.e., la coordination de trajectoires), reléguant au second plan les caractéristiques finalisées et culturellement situées de l'activité (e.g., les participants ne se connaissent pas). S'il est vain de construire une situation d'étude contrôlée qui préserve l'ensemble des caractéristiques de la situation d'origine, le registre cultivé de l'activité est, quant à lui, le plus difficile à tenir. Pour notre objet d'étude, cette « perte » est acceptable dans la mesure où l'approche énaactive des couplages sociaux considère que les éléments de *coordination* (i.e., la dynamique située de coordination spatiotemporelle) sont premiers, devant les éléments de *pré-coordination* (i.e., l'histoire des expériences partagées entre les membres, ontogénétiquement ou phylogénétiquement) qui n'existent que dans et par leur actualisation dans la coordination (Di Paolo et al., 2010 ; Froese & Fuchs, 2012). En considérant dans notre projet que le *contexte* de l'activité est principalement un cadre spatiotemporel situé d'occurrence des interactions, nous récoltons des observations dont le caractère *typique* est susceptible d'être plus facilement exportable. Par exemple, un contexte spatiotemporel de stabilité des comportements collectifs (e.g., stabilité de la surface occupée par les membres indépendamment de la variabilité de leurs trajectoires) est

exportable dans des contextes socio-culturels variés, peut-être même de façon plus importante que dans la visée d'un *type* construit sur la base des dites caractéristiques socio-culturelles. Les résultats de ce type d'étude (i.e., Bourbousson et al., 2016-2020) sont donc susceptibles de concerner de façon assez large un grand nombre d'équipes qui produisent en face à face un comportement spatiotemporel (e.g., troupes militaires, pompiers).

En somme, ce type de situation d'étude déplace la prise en compte d'un contexte socio-historico-culturel en direction d'un contexte spatiotemporel (i.e., transversal à différentes cultures), déplaçant la manière dont s'opère le processus de généralisation horizontale. En outre, la généralisation verticale de ce type de recherche est susceptible d'être renforcée par les possibilités nouvelles de recueil intensif de données ciblées.

TESTS D'HYPOTHESES ET MODELISATION MATHÉMATIQUE. La logique d'accroissement des possibilités d'exportation des résultats de nos études vers d'autres terrains légitime la conduite d'études en situations plus « contrôlées ». Bien que le contrôle de variables *a posteriori* permette de maintenir intacte la situation naturelle d'occurrence des phénomènes, les situations contrôlées *a priori* ont deux autres atouts qu'il faut considérer.

Premièrement, la construction de situations expérimentales, par principe, permet le test de certaines hypothèses via l'analyse de l'effet de variables indépendantes sur des variables dépendantes. Sans refaire ici la logique des situations contrôlées, la possibilité de moduler les conditions de réalisation de la tâche imposée aux sujets pour identifier les effets variés que produisent ces modulations sur l'activité collective permet d'engager nos travaux de recherche dans une vérification/précision des hypothèses ouvertes que nous avons formulées dans nos études exploratoires. Ainsi, associé au gain en généralisation, ce type d'approche prend également une pertinence particulière dans la dynamique de notre parcours de recherche et de nos acquis empiriques (Partie 3). Deuxièmement, la conduite de situations expérimentales d'étude ouvre de meilleures possibilités de modélisation mathématique du phénomène d'intérêt. La section suivante détaille ce gain susceptible d'augmenter le pouvoir de généralisation à la fois verticale et horizontale de nos recherches.

SYNERGETIQUE ET MODELISATION MATHÉMATIQUE DES PHÉNOMÈNES

L'ambition d'une exportabilité accrue de nos résultats d'études passe également par une démarche plus aboutie de *modélisation* des phénomènes collectifs. Cette modélisation est entendue au sens mathématique du terme (i.e., poser une équation qui représente la dynamique des phénomènes d'intérêt) : l'équation obtenue est susceptible à moindre frais d'être

réutilisée/perfectionnée par des travaux futurs et sur des terrains variés, conduits par nous-mêmes ou par d'autres. Nous en expliquons ici la logique de réalisation. Ce type de modélisation apparaît favorable à identifier de façon fine et outillée les signatures de l'autonomie des couplages sociaux, ainsi que les transformations éventuelles de ces signatures (e.g., par l'entraînement), et *in fine* (cf. section suivante) à l'exportation de nos résultats en direction des sciences du numérique. Pour argumenter cette logique, une synthèse de la *synergétique* permet d'identifier les proximités/intérêts de cette approche pour une conception éactive des couplages sociaux. Les processus de modélisation mathématique sont ensuite illustrés pour esquisser le gain escompté dans l'analyse. Nous concluons en précisant que notre contribution à ce domaine de recherche tient d'une part à l'association de situations d'études naturelles et contrôlées, et d'autre part à l'intégration de descriptions en première personne dans la conduite de ces modélisations, opérant ainsi la synthèse entre les lignes de recherche qui organisent nos projets actuels.

LA SYNERGETIQUE. Pour opérer une modélisation mathématique des couplages sociaux qui remplisse les exigences d'une approche éactive, nous retenons la synergétique de Haken (Haken, 1969). La synergétique fonde ses présupposés dans les théories des systèmes complexes et dynamiques non-linéaires, susceptible ainsi de concrétiser l'appel à ce type de modèles pour réaliser une approche éactive intégrative (Froese & Fuchs, 2012). A gros trait, la synergétique permet de définir et paramétrer une équation qui résume/capture des observations empiriques en même temps qu'elle permet *in fine* de simuler lesdits comportements et leur sensibilité à certaines variables. La synthèse qui suit doit beaucoup à Haken (2007) dont nous reprenons les arguments principaux.

La synergétique est un domaine de recherche interdisciplinaire qui rend compte de la manière dont plusieurs composants individuels d'un système fonctionnent ensemble, que ces systèmes soient matériels ou immatériels (Haken, 2007). La synergétique s'intéresse aux processus génériques d'auto-organisation (i.e., indépendants de la nature des composants du système considéré) qui permettent l'émergence de nouvelles propriétés dans le système. Ces propriétés peuvent être des structures spatiotemporelles, mais également des processus ou des fonctions qu'assure le système, et sont observées à un niveau macroscopique d'organisation. Pour réaliser ses analyses, la synergétique propose des outils directement indexés à tout un cadre théorique sophistiqué puisant largement dans la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires.

Les systèmes sont considérés comme étant régis par des *paramètres de contrôle*. Ces paramètres sont une (ou plusieurs) variable(s) susceptible(s) de rendre compte des contraintes-clés qui peuvent perturber le système au point de donner l'impression d'en contrôler le comportement

global. Notamment, quand les paramètres de contrôle atteignent des valeurs critiques spécifiques, le système devient instable et se réorganise autour d'un nouvel état intrinsèquement stable.

Dans la procédure de modélisation mathématique du système considéré, ces zones d'instabilité (i.e., *instability points*, Haken, 2007) sont des phénomènes permettant d'identifier un deuxième type de variable, les *paramètres d'ordre*. Théoriquement, le paramètre d'ordre est conçu comme une variable qui capture la dynamique macroscopique du système (i.e., la dynamique des états émergeant des interactions entre les parties de niveau inférieur). En respect du principe de *causalité circulaire* à l'œuvre dans le système (i.e., *slaving principle*, Haken, 2007) le paramètre d'ordre contraint les comportements de bas niveau, même si ceux-ci ont une autonomie relative les conduisant à exhiber des *fluctuations* et à être eux-mêmes, par leurs interactions, des déterminants de la dynamique du paramètre d'ordre. Dans la mesure où les systèmes dynamiques ont la propriété de produire des comportements qui peuvent transiter subitement entre des états qualitativement différents (i.e., *transition de phase*), c'est au niveau de ces paramètres d'ordre que peuvent s'observer de telles ruptures comportementales. Dans l'ensemble des valeurs que peut prendre le paramètre d'ordre, certaines valeurs sont retenues car témoignant d'états structurés (et structurants) renvoyant à des comportements récurrents dans lesquels vient se réfugier le comportement du système lorsqu'il est dans une zone proche mais non-structurée : on appelle ces valeurs les *attracteurs* du système. La variabilité de ce paramètre d'ordre est également à prendre en compte. Loin d'être considérée comme un bruit insignifiant ou une erreur expérimentale, la variabilité est dite fonctionnelle (ou saine, i.e., *healthy*) dans la mesure où elle rend compte de la vie du système, de sa dynamique intrinsèque, et constitue une partie importante du dynamisme adaptatif du système. Lorsque cette variabilité s'accroît subitement au point d'être proche de sortir le système de son état stable, on parle de *fluctuations critiques*. Ensemble, ces différentes notions reflètent des phénomènes systémiques associés aux processus d'auto-organisation.

INTERETS CONCEPTUELS DANS UNE APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX. Dans le cadre de l'approche énaactive des couplages sociaux, plusieurs aspects de la synergétique sont d'intérêt. Le premier est conceptuel. Dans la mesure où l'approche énaactive des couplages sociaux pose les conditions de l'autonomie du système social en même temps qu'elle se nourrit des travaux qui en observent les traces, la synergétique est susceptible de venir préciser les formes d'actualisation/transformation de cette autonomie du système social. Si Varela lui-même puisait dans les théories et outils des systèmes complexes pour conduire ses études empiriques, un exercice de clarification de l'adéquation de la synergétique avec l'approche énaactive des couplages sociaux reste utile.

Tout d'abord, la synergetique vise la description des processus d' « auto-organisation » à l'œuvre dans un système donné. Dans l'approche énaïve, ce processus est considéré comme un des processus-clés prévalant à l'autonomie des systèmes. De la sorte, toute modélisation du fonctionnement du système social intégrant ce processus comme une composante fondamentale est susceptible d'être heuristique et de rendre compte de phénomènes avançant les descriptions de l'autonomie des couplages sociaux. Le travail de modélisation mathématique intègre ainsi l'idée d'auto-référencement, et avec elle celle de la prépondérance de la dynamique intrinsèque du système dans l'évolution et l'adaptation de ses comportements, celle du refus d'une causalité linéaire entre les variables (e.g., éviter toute boxologie, De Jaegher & Di Paolo, 2007), et celle d'un rôle non-instructif de l'environnement : l'auto-organisation du système conduit l'environnement (soit-il interne ou externe au système) à agir comme un ensemble de perturbations, dont l'effet sur le système est prioritairement dépendant des patterns intrinsèques de fonctionnement stabilisés. Ces patterns stables de fonctionnement (i.e., régissant le comportement du système tout en étant produit par lui) sont des *attracteurs* dans l'approche synergetique, des *comportements propres* chez Varela (1989b).

Ensuite, la notion de *paramètre d'ordre*, dans la mesure où elle vient capturer les phénomènes émergents à un niveau collectif d'analyse, permet une description macroscopique des phénomènes, et donc d'éviter les écueils d'un réductionnisme et/ou d'une approche agrégative des comportements individuels. Dans la synergetique, l'opérationnalisation d'une description multi-niveaux est particulière. La synergetique décrit le niveau macroscopique d'analyse en capturant le comportement dans une(des) variable(s) collective(s), qu'elle considère comme enclavé dans le niveau local d'organisation dont il émerge (i.e., sans nécessairement décrire ce niveau local d'organisation). Elle décrit ensuite les interférences entre niveaux d'organisation à partir d'une analyse des contraintes (internes ou externes au système) qui en modulent les formes d'occurrences : le(s) *paramètre(s) de contrôle*. De la sorte, sans être nécessairement une approche multi-niveaux dans les descriptions qu'elle fournit, l'approche synergetique avance des modélisations qui en intègrent les présupposés (i.e., le *slaving principle* est constitué des phénomènes de causalité ascendante et descendante).

Finalement, les concepts et outils mathématiques associés sont chacun capables de décrire des phénomènes sociaux d'intérêt (e.g., fluctuations critiques, transitions de phase). Parmi eux, l'établissement par la modélisation du *paysage des attracteurs* organisant le comportement du système investigué présente une mathématisation intéressante de la dynamique intrinsèque du système social, et de la manière dont l'histoire de couplage structurel du système avec son environnement façonne les patterns comportementaux susceptibles d'apparaître dans différents espaces de contraintes.

Toutefois, l'approche synergétique est avant tout mathématique, et de la sorte résiste de prime abord à une considération des données phénoménologiques qui relèvent (au moins au départ) de données qualitatives. Ainsi, pour qu'une approche synergétique des couplages sociaux soit plus authentiquement et pleinement éactive, elle pourra soit s'appliquer à des données phénoménologiques transformées en direction de leur quantification (e.g., Bourbousson et al., 2015), soit s'appliquer à des données comportementales intégrant la subjectivité de l'acteur dans leurs modalités d'échantillonnage (voir Partie 4, Chapitre 1 sur le spectre de ces possibilités). Un projet est développé actuellement (Bourbousson, 2016-2020) qui intègre la mobilisation de l'approche synergétique sur des données de trajectographie. Ces données de trajectographie sont indexées avec les « modes de régulation » adoptés par chaque acteur du comportement collectif. Ces modes de régulation sont identifiés à partir de descriptions en première personne, et permettent *in fine* d'échantillonner les données comportementales (i.e., quantitatives) en respect de la perspective subjective de chaque participant (i.e., *échantillonner par la subjectivité*, Partie 4, Chapitre 1), et subséquemment de conduire une modélisation mathématique de ces données qui intègre l'hypothèse phénoménologique.

PROCESSUS DE MODELISATION MATHÉMATIQUE. Le processus de modélisation mathématique engagé dans l'approche synergétique, et plus généralement dans les travaux se référant à la théorie des systèmes dynamiques, procède de multiples manières (Dieterlen, 2008). Il s'agit le plus souvent d'identifier un modèle mathématique (i.e., une équation) qui capture les observations empiriques, de le paramétrer et de vérifier l'adéquation du modèle aux observations empiriques. L'illustration du processus de modélisation conduit à renforcer l'intérêt des situations d'étude « contrôlées » pour conduire cette étape dans le cadre de nos préoccupations.

Premièrement, la modélisation mathématique peut se réaliser sur tout type de phénomène, de sorte que toute mesure est susceptible d'être retenue comme une variable d'intérêt. L'analyste travaille à la construction d'une (ou plusieurs) *équation(s) d'évolution*, c'est-à-dire un ensemble de fonctions qui, associées, décrivent la dynamique d'évolution de la variable d'intérêt (i.e., cette dynamique est considérée comme la solution du système). Cette équation d'évolution décrit le comportement du paramètre d'ordre. L'analyse peut viser la description de ce paramètre macroscopique, ou intégrer un système d'équations d'évolution relatives à des sous-composants qui se co-déterminent avec le paramètre d'ordre. Dans tous les cas, cette équation intègre des données relatives à l'état présent du système comme un facteur important dans la dynamique du système (i.e., signant une conception « située » du comportement du système). En général, ces équations sont non-linéaires et différentielles (e.g., Bootsma, Mottet, & Zaal, 1998 ; Dieterlen, 2008 ; Felmlee & Greenberg, 1999) et donnent une place aux fluctuations internes du système dans l'engendrement

de son comportement (i.e., valorisant le dynamisme intrinsèque du système). En fonction du système qu'il étudie, l'analyste identifie et paramètre les fonctions qui composent son équation. Par exemple, dans le cadre de la modélisation d'un système oscillant, l'association d'une fonction d'amortissement avec une fonction de raideur (i.e., dont il reste à identifier les contributions respectives) peut être suffisante à rendre compte des données empiriques (Bootsma et al., 1998 ; Nourrit, Delignières, Caillou, Deschamps, & Lauriot, 2003). Une fois les fonctions identifiées et paramétrées, le modèle peut être validé en simulant le comportement du système à partir de l'équation générée, et en comparant les données simulées avec les données observées qui ont prévalu à la construction de l'équation. Au sein de cette procédure, les variations du paramètre de contrôle (e.g., qui peut être le coefficient d'une fonction dans l'équation) sont supposées produire dans l'équation une modulation de la stabilité du paramètre d'ordre, régissant l'alternance entre modes stables et instables de comportements (i.e., stabilité des valeurs du paramètre de contrôle).

Cette procédure de modélisation mathématique peut se réaliser pour rendre compte de données obtenues en situation contrôlée, mais également en situation réelle. A titre illustratif, la modélisation mathématique du comportement d'un marché financier se fait à partir de données empiriques relatives à la situation naturelle (Lux, 1998). La modélisation du comportement moteur dans une tâche de Fitts peut se réaliser en comparant différentes conditions expérimentales d'une situation contrôlée (Bootsma et al., 1998). Dans ce contexte, les situations contrôlées ont tout de même un intérêt. Elles permettent de réaliser des allers-retours entre la simulation du comportement du système et la vérification empirique subséquente de sa validité, notamment sur des données expérimentales qui n'ont pas servi à la construction du modèle. En déplaçant ainsi légèrement les conditions expérimentales d'observation du comportement du système considéré, l'analyste perfectionne son équation et en augmente le champ de validité. Le jeu expérimental appliqué sur les contraintes situationnelles imposées au système peut aider à identifier/préciser le paramètre de contrôle (i.e., si celui-ci est le facteur différenciant les conditions expérimentales et que la stabilité du paramètre d'ordre est fonction de ses variations).

MODELISATION DES SITUATIONS DE COORDINATION INTERPERSONNELLE. Dans les sciences du mouvement humain, le processus de modélisation mathématique inspiré de la synergie a été essentiellement conduit dans l'analyse des coordinations intra-individuelles (e.g., Kelso, 1997). Pour l'analyse des coordinations interpersonnelles, les travaux se référant à la théorie des systèmes dynamiques non-linéaires ont été conduits alternativement en situation contrôlée et en situation naturelle. En situation contrôlée, ce sont les travaux de R.C. Schmidt (e.g., Schmidt & Richardson, 2008, pour une synthèse) qui ont étendu le modèle de Kelso aux coordinations interpersonnelles. En

situation naturelle, c'est l'équipe de K. Davids qui a conduit l'essentiel des travaux empiriques existants (e.g., Davids, 2015 pour une synthèse).

Schmidt part des travaux de Kelso ayant modélisé la dynamique de transition de phase entre les états de coordination des segments d'un acteur individuel et explore dans quelle mesure il est possible d'observer des structures de coordination (i.e., des synergies fonctionnelles) entre deux individus en employant le même formalisme mathématique. A titre illustratif, deux participants assis devaient coordonner les oscillations de leurs membres inférieurs en phase ou en anti-phase en respectant le tempo imposé par un métronome dont la fréquence augmentait toutes les cinq secondes (Schmidt, Carello, & Turvey, 1990). Les auteurs observent que le système interpersonnel se réfugie dans la coordination en phase à mesure que la fréquence d'oscillation augmente, rendant la coordination en anti-phase difficile à maintenir à hautes fréquences. Ensuite, lorsque les expérimentateurs demandent aux sujet de ne pas intervenir dans les transitions de phase, ils ont observé que ces transitions avaient toutes les propriétés formelles d'une réorganisation dynamique (e.g., fluctuations critiques, hystérésis). De la sorte, et au fil des expérimentations, les auteurs ont montré que la coordination interpersonnelle des mouvements exprimait les mêmes propriétés dynamiques que les modes de coordination intra-individuels modélisés par Haken, Kelso, et Bunz (1985, modèle HKB) : « *la nature interpersonnelle des attracteurs comportementaux a démontré que les principes d'organisation dynamique de l'équation HKB peut fonctionner dans des systèmes oscillatoires couplés par une information perceptive et, en conséquence, que ces principes représentent une stratégie universelle d'auto-organisation qui se produit à des échelles de natures multiples* » (Schmidt & Richardson, 2008 ; p. 285).

Ce travail de modélisation des comportements collectifs a été conduit également pour rendre compte des comportements de synchronisation des lucioles en Asie du Sud Est (Hanson, 1978). La modélisation mathématique de ce comportement collectif montre que la synchronisation en phase de deux insectes est susceptible d'apparaître quand la fréquence propre d'oscillation d'une luciole est suffisamment proche de la fréquence à laquelle elle va se coupler pour que les forces de coordination prennent le pas. Dans l'équation proposée par Hanson (1978), les forces de coordination sont modélisées par une fonction de couplage qui est la même que dans le modèle HKB, ainsi qu'une fonction stochastique considérant le rôle du bruit dans la dynamique du système. A cela s'ajoute une fonction de fréquence propre de chaque oscillateur (i.e., fonction qui sera intégrée dans le modèle HKB étendu et perfectionné, e.g., Schmidt & Turvey, 1995). De façon intéressante, ce travail de modélisation des comportements collectifs des lucioles par la synergie sert de référence autant dans le rationnel de Schmidt (Schmidt & Richardson, 2008) que dans celui de De Jaegher & Di Paolo (2007). Il illustre, en tous cas, comment des phénomènes sociaux de coordination peuvent être modélisés de façon heuristique à partir des outils conceptuels et mathématiques de la

synergétique. Il illustre également la force de généralisation horizontale (voir Partie 4, Chapitre 2) de ce type de modèle, dans la mesure où les processus d'auto-organisation modélisés sont susceptibles d'être repris/exportés dans des situations très variées (i.e., des lucioles à la coordination bimanuelle). A titre d'exemple, les processus d'auto-organisation capturés par l'équation HKB ont supporté également l'analyse des coordinations sociales non-intentionnelle en milieu naturel (Richardson, Marsh, Isenhower, Goodman, & Schmidt, 2007 ; Varlet & Richardson, sous presse), même si les forces de synchronisation sont plus faibles qu'en situation expérimentale de co-régulation par les acteurs de leur coordination interpersonnelle.

A cette ligne de recherche, centrée essentiellement sur la coordination interpersonnelle des membres (e.g., bras, jambes), s'ajoute une littérature centrée sur l'étude de la coordination interpersonnelle conduite à partir de l'analyse des trajectoires des participants (e.g., Davids, 2015). Cette littérature, inspirée par les mêmes sources, a été conduite majoritairement en situation naturelle d'opposition sportive. A titre illustratif, un travail conséquent a été conduit par P. Passos dans l'analyse de la coordination attaquant-défenseur en rugby (e.g., Passos, Araujo, Davids, Gouveia, Milho, & Serpa, 2008). A partir de données de trajectographie recueillies dans des situations aménagées de *un contre un* au rugby (intégrant parfois des partenaires et/ou adversaires supplémentaires), l'auteur a multiplié les descriptions des contraintes gouvernant le déroulement dynamique d'une telle coordination. Il a suggéré, entre autres, que la vitesse relative entre les deux protagonistes, ou leur distance interpersonnelle, puissent agir comme un paramètre de contrôle de cette coordination et de son devenir (Passos, Milho, Fonseca, Borges, Araujo, & Davids, 2011). Cet auteur a également montré que les interactions attaquant-défenseur suivaient une distribution selon une loi de puissance (Passos, Araujo, Davids, Milho, & Gouveia, 2009). Toutefois, si l'ambition est celle d'une modélisation des comportements interactifs en sport, à notre connaissance, aucune de ces études n'a confronté les données empiriques à la formulation/paramétrisation d'équations. Les études de trajectographie en situation sportive adoptent les concepts et discours de la synergétique, conduisent des études visant à renseigner les formes d'actualisation de ces concepts dans les situations de coordination sportive, mais restent plus préoccupées par les phénomènes empiriques associés que par la production d'une équation mathématique générique susceptible de s'instancier dans différentes situations. Ainsi, si l'étude des coordinations interpersonnelles à partir de l'approche synergétique a été étendue à la compréhension des trajectoires de déplacement en sport, une approche de modélisation mathématique reste manquante (i.e., bien qu'on trouve des formes de modélisation appliquées à des comportements « non-finalisés par la coordination », tels que le déplacement de piétons, Moussaïd, 2010).

Un projet, qui est actuellement conduit, ambitionne un tel travail de modélisation mathématique (Bourbousson, 2016-2020). Si le contexte d'étude affiché est clairement

expérimental, le modèle identifié pour rendre compte des formes de stabilité/instabilité d'un comportement collectif dans l'espace est susceptible d'être exportable (i.e., moyennant une adaptation de l'équation) à d'autres situations de coordination pour lesquelles l'articulation par les membres de leurs trajectoires est un enjeu important. Dans ce sens, et au vu de la littérature relative à la modélisation des coordinations interpersonnelles, ce projet s'engage dans une niche riche et heuristique de modélisation des comportements de coordination interpersonnelle. Comme précisé ci-dessus, notre perspective ajoute à cette heuristique la perspective d'intégration des descriptions en première personne dans les modalités d'échantillonnage des descriptions en troisième personne, permettant notamment de « contrôler » la nature de la régulation opérée par chaque participant dans une situation de coordination impliquant un grand nombre de protagonistes. Un autre projet est conduit relativement à l'analyse de la coordination interpersonnelle en situation naturelle d'aviron (R'Kiouak, 2014-2017). Ce projet inclut une étude visant à comparer les propriétés de coordination des rameurs lors de la phase de *drive* (i.e., rames dans l'eau) et de retour (i.e., rames hors de l'eau), correspondant possiblement à des modalités distinctes de coordination (e.g., coordination absolue *versus* coordination relative). La modélisation de ces deux phases de façon distincte est susceptible de mobiliser des fonctions distinctes ou paramétrées différemment. L'une ou l'autre de ces solutions est de nature à discuter de la nature plus ou moins commune des processus d'auto-organisation gouvernant les deux phases du geste.

Ensemble, ces éléments de modélisation et les procédures de construction des situations d'étude qui la permettent sont également favorables à la simulation des comportements collectifs (i.e., et *in fine* à leur prédiction), et ouvrent ainsi nos travaux en direction des sciences du numérique (i.e., systèmes multi-agents).

EN DIRECTION DES SCIENCES DU NUMERIQUE.

L'approche de modélisation mathématique est un point de départ favorable à des liens avec les sciences du numérique. Les équations qui rendent compte de l'évolution du système, puisqu'elles « modélisent » dans une forme synthétique les observations empiriques relatives à l'activité collective, peuvent ensuite (moyennant une requalification dans un langage adéquat) se passer de ces observations premières pour simuler le phénomène initial ou, pour être plus précis, générer des observations virtuelles gouvernées par les mêmes propriétés (supposées) que le phénomène empirique. Cette simulation informatique, numérique, peut assurer différentes fonctions dans le processus de notre recherche empirique sur l'activité collective. Ces fonctions sont : *i*) la validation de nos modélisations, *ii*) l'extension du périmètre de validité de nos modélisations, *iii*) la valorisation

hors-académique de nos travaux, et *iv*) le développement de l'approche énaactive des couplages sociaux.

SCIENCES DU NUMÉRIQUE ET VALIDATION DE NOS MODÉLISATIONS. Les simulations de comportements collectifs sont très répandues dans les systèmes artificiels. Les développeurs de ce type de systèmes informatiques procèdent en fixant un ensemble de règles ou de buts (i.e., des fonctions) qui régissent le comportement des entités (i.e., des agents), en interactions dynamiques avec d'autres entités. Les interactions dynamiques entre agents sont plus ou moins contraintes dans leurs conditions d'occurrence et permettent à l'agent en question de changer de comportement entre deux instants (i.e., sa vitesse et sa direction dans le cadre d'une coordination spatiotemporelle). A partir de cette programmation, des phénomènes de coordination collective apparaissent. Une utilisation courante de ce type de simulation numérique dans le processus de la recherche empirique revêt un intérêt pour la validation des modélisations proposées.

Pour comprendre le processus de validation d'une modélisation par simulation informatique, l'étude (déjà évoquée) de Bootsma et collaborateurs est illustrative (Bootsma et al., 2008). Les auteurs modélisent le comportement moteur intra-individuel dans une tâche de pointage. Ils identifient et paramètrent plusieurs modèles renvoyant aux différentes conditions expérimentales testées (i.e., différents niveaux de difficulté dans la tâche). Ensuite, forts de ces modélisations, ils simulent les patterns de mouvement attendus à partir des équations qu'ils ont générés, et les comparent avec les patterns de mouvement initiaux observés empiriquement. L'adéquation mesurée entre lesdits patterns vaut ainsi pour indice de validité des modélisations. Cette procédure et utilisation de la simulation informatique n'apporte rien empiriquement, mais se constitue comme un atout dans la démarche même de recherche et d'accréditation des résultats.

Pour aller plus loin, alors que cette procédure pourrait finalement se passer d'une visualisation de la simulation (i.e., seul l'indicateur d'adéquation compte), il est des cas où la simulation effective en temps réel prend plus de sens. A titre illustratif, dans le projet que nous conduisons autour de la modélisation des comportements collectifs (au regard de leurs modes de régulation sous-jacents) (Bourbousson, 2016-2020), nous simulons un comportement collectif dans un espace de réalité virtuelle immersive (i.e., les propriétés de ce comportement collectif sont indexées sur les modélisations construites expérimentalement). La simulation « visuelle » permet de franchir un pas supplémentaire dans la validation des résultats. Non seulement les simulations générées par les modélisations construites sont évaluées au regard de leur adéquation aux données empiriques initiales, mais l'analyste appréhende également dans quelle mesure les modélisations ont réussi à capturer une structure importante du comportement collectif en conduisant à une simulation jugée visuellement vraisemblable par un humain immergé dans le système. Si toute

modélisation adéquate dit quelque chose du phénomène étudié, la vraisemblance du phénomène simulé pour un observateur est un critère important qui témoigne de la nature plus ou moins centrale du processus modélisé (i.e., pertinence du modèle pour capturer la structure du phénomène). Ce critère est important notamment lorsque la simulation informatique vise des possibilités de développement d'un « produit » numérique (cf. section à suivre relative à la valorisation hors-académique). Pour conduire cette étape supplémentaire de validation des modélisations par les sciences du numérique, nous conduisons deux étapes de validation en partenariat avec l'équipe MimeTIC de l'INRIA (Rennes 2) (Bourbousson, 2016-2020). La première se réalise à partir de l'immersion d'humains dans l'espace de réalité virtuelle simulant des comportements collectifs. Le recueil et l'analyse de leur expérience subjective dans le simulateur aide à conduire l'analyse. Ensuite, les propriétés des comportements collectifs simulés informatiquement sont extraites (notamment sur d'autres aspects que ceux inclus dans le modèle les ayant générés) pour être comparées avec des observations empiriques distinctes de celles ayant servi initialement à la construction des modélisations d'évolution.

SCIENCES DU NUMÉRIQUE ET EXTENSION DES CONNAISSANCES. Les simulations de comportements collectifs par les sciences du numérique ne servent pas seulement à valider les modèles construits expérimentalement. Ils peuvent également servir à étendre le domaine de validité de l'étude en réalisant des formes d'expérimentations virtuelles (Kozlowski et al., 2013). En effet, bien qu'une forme classique de relation entre le modèle et l'expérimentation soit de continuer à conduire des expérimentations empiriques venant préciser le modèle, il est également possible de conduire ces expérimentations directement à partir du modèle pour générer des connaissances scientifiques nouvelles. Cette forme d'utilisation des sciences du numérique ne remet pas directement en question le modèle construit, mais l'utilise pour simuler d'autres « cas » que ceux ayant prévalu à sa construction. Cette expérimentation au sein d'un espace virtuel permet d'examiner une variété de cas de figure, de générer des connaissances expérimentales nouvelles, mais également de venir construire/étendre le domaine théorique. Ces nouvelles connaissances générées peuvent ensuite être précisées/délimitées en recourant de nouveau à des observations empiriques (voir Kozlowski et al., 2013 pour une discussion des enjeux de ce type de recherches dans la compréhension du fonctionnement des collectifs humains).

A titre illustratif, un travail de modélisation ayant ce type de visée a été construit relativement à la compréhension du comportement collectif des colonies de termites (Gautrais, Buhl, Valverde, Kuntz, & Theraulaz, 2014). Les auteurs partent de la connaissance selon laquelle les nids de termites peuvent être structurés simplement (*tree-like*) ou avoir des ramifications hautement imbriquées. La description de ces deux types de structure est difficile à conduire à partir de données

réelles, et surtout les techniques d'investigation empirique ne permettent pas de suivre le développement de la structure du nid au cours du temps. En première étape, les auteurs ont investigué empiriquement une colonie de termites (200 termites) et ont construit un modèle mathématique rendant compte de la dynamique d'élaboration des tunnels (Buhl, Gautrais, Deneubourg, Kuntz, & Theuraulaz, 2006). Souhaitant ensuite construire une analyse de la topologie du réseau qui soit plus sensible aux « paramètres » du modèle, ils ont focalisé leur travail sur le rôle de la taille de la colonie dans le développement du nid. Pour cela, les auteurs ont investigué empiriquement trois colonies (50, 100, et 200 termites) et proposé un nouveau modèle dont ils ont testé l'adéquation relativement aux observations empiriques de chacune des colonies (i.e., la puissance du modèle). Ensuite, et pour étendre le domaine de connaissance à partir de ce modèle, ils ont exploré l'effet de la taille de la colonie sur la structure globale du nid en simulant/prédisant le comportement dynamique du nid au regard d'une variété de taille de colonies (entre 1 et 7000 termites). Ils montrent par cette expérimentation numérique que le degré de structuration du nid augmente rapidement avec le nombre de termites puis, à une taille critique, le degré de complexification atteint un niveau limite. La simulation numérique permet aux auteurs de conclure que le paramètre « nombre de termites » est suffisant pour rendre compte de la transition entre un nid à structure simple et un nid complexe hautement ramifié. Sans l'avoir détaillé ici dans l'un de nos projets avancés dans la Partie 5, nous envisageons de compléter/poursuivre le projet de modélisation des comportements collectifs en direction de l'étude de l'effet du nombre de protagonistes engagés dans le maintien de la stabilité du comportement collectif spatiotemporel. Ce projet est l'objet de discussions déjà engagées (collaboration avec le LINA, laboratoire Informatique de Nantes Atlantique) et objet d'un premier dépôt en réponse à un appel à projet interne à l'université de Nantes.

SCIENCES DU NUMÉRIQUE ET VALORISATION HORS-ACADEMIQUE DE NOS TRAVAUX. Les simulations de comportements collectifs par les sciences du numérique peuvent également être en elles-mêmes une voie possible de valorisation hors-académique de nos travaux, par exemple en direction de « produits » industriels. Les systèmes multi-agents régissent grand nombre de systèmes informatiques. De plus en plus de technologies sont « connectées », non seulement aux réseaux internet, mais connectées entre elles et se construisent sur des formes de « faire ensemble » (i.e., entre systèmes informatiques) plus ou moins robustes, adaptatives et intuitives. Connecter dynamiquement entre eux des agents individuels, c'est-à-dire intégrer dans le processus un modèle de l'interaction interindividuelle, s'instancie autant dans la robotique en essaim (Rubenstein, Cornejo, & Nagpal, 2014) (e.g., systèmes multi-robots de déminage, armées de drones) que dans les jeux vidéo de sport collectif, ou les films d'animation intégrant des foules générées à partir d'images

de synthèse (e.g., Golaem project). De la sorte, toute modélisation des comportements collectifs humains est susceptible de pouvoir venir préciser les modèles prévalant à la construction de tels systèmes artificiels, et donc d'intéresser *in fine* les industriels du secteur. C'est dans cette perspective qu'un projet que nous conduisons actuellement (Bourbousson, 2016-2020) s'inscrit dans une collaboration avec un industriel de l'informatique à destination des firmes de cinéma. Cette startup (Golaem, Rennes) propose un logiciel capable de générer des comportements de foule (Golaem crowd) implémentables dans des enregistrements vidéos variés (e.g. réalisation de films intégrant des images de synthèse plutôt que de mobiliser des figurants pour construire des plans couteux et parfois ne servant que d'arrière-plan), pour lesquels la multiplicité et la vraisemblance des mouvements spatiotemporels qu'elle est susceptible de générer est de premier intérêt. Egalement, et dans le cadre d'une collaboration plus prospective, l'équipe MimeTIC de l'INRIA (Rennes 2) suggère à moyen terme un intérêt potentiel des industriels du jeu vidéo pour le type de modélisations affichées dans nos projets. Sans être à l'origine des projets de recherche conduits actuellement, ces pistes font partie intégrante de notre planification dès lors qu'un certain potentiel de valorisation est décelable.

Au-delà des intérêts de la démarche de valorisation des travaux scientifiques, la conduite d'une approche située et incarnée de l'intelligence artificielle (Froese & Ziemke, 2009) qui coïncide le mieux avec l'ancrage de nos travaux est présentée comme une alternative viable aux approches computationnalistes, notamment en intégrant de façon centrale l'autonomie des agents se coordonnant. Les principes d'une approche pleinement éactive des systèmes artificiels jouent positivement sur la capacité d'adaptation des systèmes construits, notamment la capacité des agents à réguler activement leurs interactions, les conduisant à témoigner de comportements relativement bien « dirigés » (i.e., Agentivité intentionnelle, Froese & Ziemke, 2009). Les systèmes artificiels pleinement éactifs (*fully enactive artificial intelligence*) tentent également de construire des systèmes engageant une activité signifiante de l'agent se coordonnant (*sense-making*), et pas seulement une inscription de son activité dans une boucle auto-organisée de couplage contextuel. Pour cela, il est nécessaire que les systèmes multi-agents construits considèrent que la direction du comportement du système est générée de l'intérieur, et non imposée par l'ingénieur qui conçoit le système, signant une téléologie intrinsèque. Les modélisations éactives visées dans nos projets sont susceptibles d'inspirer et de servir d'ancrage à ce type de démarche, se constituant, au-delà d'une piste prometteuse de valorisation, comme une heuristique au sein même du domaine de l'intelligence artificielle.

SCIENCES DU NUMÉRIQUE ET DÉVELOPPEMENT DE L'APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX.

Une dernière logique de recours aux sciences du numérique est identifiable dans la littérature. Sans

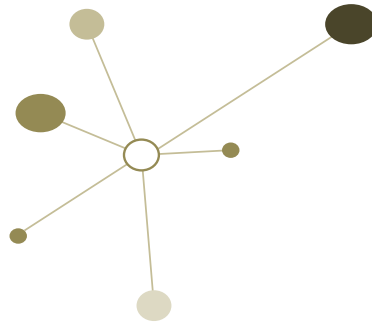
avoir pour notre part de projet mobilisant directement ce type d'approche à ce jour, nous la présentons tout de même car elle est largement développée dans le cadre du développement théorique et applicatif du paradigme éactif de compréhension des comportements collectifs, et mérite d'apparaître dans une section réservée aux relations avec les sciences du numérique. Cette approche consiste à construire des connaissances (i.e., essentiellement théoriques) à partir d'expérimentations virtuelles (i.e., conduites à partir de modèles de simulation), sans support/recours à des observations empiriques. L'étude puise son inspiration dans le domaine théorique de référence (e.g., l'approche éactive des couplages sociaux) qu'elle contribue à préciser par les résultats des simulations informatiques réalisées. Dans ce cadre, les études de ce type visent certes la construction de systèmes artificiels performants, mais ambitionnent plus fondamentalement de contribuer aux débats qui prévalent en sciences cognitives.

A titre illustratif de cette démarche, Froese & Di Paolo (2008) construisent un modèle de simulation volontairement minimal de la cognition sociale. Ce modèle, ciblé sur l'importance de la contingence sociale dans l'interaction (i.e., l'activité située de co-régulation des comportements), vise à démontrer que des comportements d'interaction performants et adaptatifs peuvent émerger directement de la dynamique d'interaction, sans doter les agents de capacités cognitives extraordinaires. Pour cela, deux agents virtuels se déplacent respectivement latéralement, et sont chacun équipés d'un capteur. Ce capteur envoie un signal bref à l'agent quand il croise l'autre agent. Le but fixé aux agents est de se trouver et de bouger ensemble dans une même direction. Sur la base de ce modèle de simulation, les auteurs vont construire deux conditions expérimentales qui vont leur permettre d'avancer des éléments de discussion théorique. Dans la première condition, les deux agents régulent leur activité sur les mêmes bases (i.e., condition de co-régulation). Dans la deuxième condition, un seul des deux agents régule son activité, l'autre ayant un comportement exempt de toute interaction sociale (i.e., comportement produit lors de la condition expérimentale précédente et réinjecté ici sans aucune modulation) (i.e., régulation uni-directionnelle). A partir de mesures relatives à la vitesse de chaque agent et de mesures de coordination, les auteurs décryptent les effets de la co-régulation sur la qualité du comportement collectif produit. Ils montrent que la co-régulation (i.e., chaîne itérative de réactions des deux agents) produit des bénéfices en termes de stabilité de la coordination interpersonnelle. Indépendamment de ces résultats ciblés, l'étude illustre un processus de construction de connaissances relatives aux phénomènes de coordination interpersonnelle à partir d'expérimentation virtuelles, et sans aucun recours à l'expérimentation empirique. Sans se limiter à une approche exclusivement informatique (voir Froese et al., 2014 pour une réplique de cette expérimentation chez des humains), nombreux sont aujourd'hui les tenants de l'approche éactive qui recourent aux sciences du numérique pour avancer l'approche éactive des couplages sociaux (pour plus de détails voir Di Paolo et al., 2010 ; Froese & Ziemke, 2009).

Si nos projets, leurs hypothèses, et leurs résultats sont susceptibles de discuter avec cette veine de travaux, nous n'adoptons actuellement pas directement une telle procédure de conduite de nos recherches dans leurs relations avec les sciences du numérique. Nous privilégions l'utilisation des modèles de simulation dans des visées applicatives (i.e., de valorisation) et/ou de validation/extension des modélisations issues de nos études empiriques. Les perspectives d'un engagement plus profond dans les sciences du numérique reste envisageable, mais conditionné au développement de nos compétences professionnelles au regard des besoins de ce domaine.

PARTIE 5

PROJETS DE RECHERCHE AMORCES



PARTIE 1 : PARCOURS ET QUESTIONNEMENT

PARTIE 2 : ÉLÉMENTS D'ÉPISTEMOLOGIE GÉNÉRALE

PARTIE 3 : TRAVAUX DE RECHERCHE : ACQUIS EMPIRIQUES ET MÉTHODOLOGIQUES

PARTIE 4 : DIRECTIONS DE RECHERCHE ET CONDITIONS ÉPISTEMOLOGIQUES DE LEUR MISE EN ŒUVRE

PARTIE 5 : PROJETS DE RECHERCHE AMORCES

Forts de l'explicitation des ressorts d'une approche énaïve des couplages sociaux (Partie 2), d'une synthèse de nos acquis empiriques (Partie 3), de leurs limites et d'une justification des conditions de poursuite de notre travail de recherche dans deux directions (i.e., de l'étude séparée des dimensions subjectives et comportementales à celle de leur articulation ; de l'étude des situations naturelles à celle des situations contrôlées et en direction des sciences du numérique) (Partie 4), nous présentons les projets de recherche engagés actuellement. Ces projets actualisent pour chacun tout ou partie des directions affichées précédemment. Ces projets ont été connectés avec nos directions de recherche dans la Partie 4 de la présente note de synthèse. Ils sont ici introduits/détaillés dans leur logique propre sans reprendre lesdits éléments de justification et/ou explicitation de leur logique pour notre parcours de recherche.

Trois projets sont présentés dans les chapitres respectifs à suivre :

Bourbousson, 2016-2020 : Projet construit à destination de l'appel à projet Jeunes Chercheuses-Jeunes Chercheurs de l'Agence Nationale de la Recherche (Acronyme EmerColl). Ce projet est illustré à partir du texte original dans la forme de sa soumission.

Bourbousson et al., soumis : Projet construit dans le cadre d'un projet régional en cours intitulé « Analyse de la performance en cyclisme et aviron » (Acronyme ANOPACy). Ce projet est illustré à partir d'un manuscrit en faisant la synthèse et actuellement soumis à *Psychology of Sport and Exercise*.

R'Kiouak, 2014-2017 : Projet de thèse actuellement conduit par Mehdi R'Kiouak, dans le cadre du projet ANOPACy. Ce projet est illustré à partir d'une note synthétique affichant la logique du projet de thèse.

PARTIE 5 - CHAPITRE 1

BOURBOUSSON, 2016-2020

PROJET ANR JCJC – EMERCOLL



EMERGENCE OF COLLECTIVE HUMAN BEHAVIORS: IDENTIFYING MODES OF REGULATION AND THEIR DYNAMICS OF DISRUPTION

[EmerColl]

Jérôme Bourbousson

Abstract

This project focuses on analyzing phenomena of the emergence of collective behavior patterns in humans, as well as the conditions of their disruption/stabilization. To this end, the general aim of the project is to build an experimental design that will serve as a new paradigm for the research on human collective behaviors, and from which results should be exportable towards numerical science and related applications. Especially, the present empirical investigations focus on exploring the complexity of the modes of regulation (i.e., how do participants make to adjust their ongoing activity and contribute to the collective behavior), the spatiotemporal conditions that prevail in their apparition, and the spatiotemporal conditions that ensure their viability. To attain such purpose, we adopt an epistemological approach committed to how humans act and interact in collective settings: the *radically enactive perspective*. Such an approach reflects an embodied cognition concept, and includes phenomenological assumptions. This approach leads, in studies of the human world, to the joint mobilization of *first-person* (“from the inside”) and *third-person* (“from the outside”) data. This approach thus helps to i) reconstruct what the modes of regulation are regarding the subjective involvement of the participants, ii) how these modes are expressed across participants in the dynamics of how their individual activity is experienced, and iii) what the spatiotemporal correlates of the modes are, that may explain the viability of these modes. To analyze how the collective behavior emerges, and to develop the obtained results in the direction of computational science, the proposed methodology includes four stages. The first stage consists in constructing an experimental study paradigm of spatiotemporal coordination in human collectives. The second stage consists in collecting empirical joint first- and third-person data. Phenomenological data (first-person data) are collected to report the experiential dynamics of each participant during the task from interviews prompting self-confrontation and explicitation interviews. Spatiotemporal data (third-person data) will be additionally collected with a device capturing behaviors; This data targets i) the identification of individual behavior properties, and ii) the identification of “collective forms” emerging at different levels of analysis, as well as the stabilization/destabilization of these forms. The third stage consists in processing the data. First, the phenomenological data will be analyzed with respect for the analytical framework of the Course-of-action (Theureau, 2006), to explain the nature and dynamics of the significations generated by the

participants and their dynamical similarities within the collective. Second, the spatiotemporal data will be analyzed regarding metastability processes at work in the collective behavior. Collective behavior will be resumed to relevant collective variable indicating the state of the system. The specific individual contribution of each actor to the collective patterns will be captured by individual-related variables. Metastability phenomena will be then detailed and summarized by use of advanced mathematical tools. Thirdly, the crossing of these analyses will permit their “multi-level” modeling, and *in fine* an integrative characterization of modes of regulation of collective behavior, their conditions of effectiveness, and their dynamics. Finally, in post-processing, an identification of moments of system disruption will enable a return to the preceding analyses to explain the occurrence of critical situations and/or to explain their resolution. The fourth stage consists in developing these obtained results in the direction of computational science, specifically evaluating the results by placing them in behavioral models of virtual humans. This stage will make it possible to simulate agent-based models, and to observe the relevance of the previous empirical results.

TABLE OF CONTENTS

GENERAL CONTEXT AND AIM OF THE PROJECT	169
INTRODUCTION TO THE GENERAL AIM OF THE PROJECT	169
VALIDITY AND HEURISTICS OF OUR FRAMEWORK	172
OBJECTIVES OF THE PROJECT AND RELATED CHALLENGES	172
AMBITIOUS AND/OR INNOVATIVE PROPERTIES OF THE PROPOSAL	174
NOVELTY REGARDING THE ACTUAL FIELD OF RESEARCH OF THE LABORATORY	175
EXPECTED RESULTS	175
STATE OF THE ART ON THE TOPIC OF REGULATING INTERACTING BEHAVIOR	177
SOCIETAL AND INDUSTRIAL CHALLENGES	180
SCIENTIFIC PROGRAM / ORGANIZATION OF THE PROJECT	181
DESCRIBING THE SCIENTIFIC PROGRAM	181
RELEVANCE OF THE RESEARCH'S SEGMENTATION, TASKS, OBJECTIVES AND PARTICIPANTS' PREFERRED CONTRIBUTIONS	183
DELIVERABLES AND INDICATORS OF SUCCESS	189
RISK ANTICIPATION	189
TASKS' SEQUENCE	190
DETAILED ELABORATION OF THE PLANNED METHOD	192
SYNERGY BETWEEN SCIENTIFIC METHODOLOGIES SKILLS OF THE PARTICIPANTS	202
OVERALL IMPACT OF THE PROPOSAL	202
JUSTIFICATION OF THE AMOUNT OF ASSISTANCE REQUIRED	203
PRESENTATION OF THE COLLABORATORS AND THEIR QUALIFICATIONS	205
SYNTHESIS OF PARTICIPANTS' CONTRIBUTIONS AROUND THE LEADER	206
REFERENCES	207

GENERAL CONTEXT AND AIM OF THE PROJECT

INTRODUCTION TO THE GENERAL AIM OF THE PROJECT

This project aims to analyze phenomena of the emergence of collective behavior patterns in humans as well as the conditions of their transition/disruption/stabilization. The study of spatiotemporal coordination falls within various scientific fields: ethology, robotics, group psychology, human movement science, and the like. Notably, its industrial applications relate to artificial intelligence and, for example, the development of multi-robot systems. In this area, the studies have focused on building collective intelligence (i.e., group's structure properties) and on the process enabling the emergence of collective behaviors that are complex (i.e., complex to establish based on a specification of behavior for each agent), flexible (modulation of the system's functioning to improve its coupling to environmental constraints), and above all robust (persistence of the system attributes despite disruptions and/or progressive rather than sudden degradation of collective performance in the case of failure; Nembrini & Martinoli, 2007).

In artificial intelligence, two elements form the basis of the development of these works. The first element refers to research of parsimonious models and subsequently to the mobilization of self-organization theories in complex systems. Little information is needed for the programming of "agents" to contribute to the emergence of a collective behavior. This information is generally related to the conduct of their individual activity (e.g., speed) on the one hand and on the other, to the manner of regulating their "relative positioning" (e.g., direction) (Nembrini & Martinoli, 2007). Most works propose a relative positioning based on 'local' adjustments between agents (i.e., an agent's behavior is driven by picking up only information about how very proximal agents are moving), leading to forms of distributed cognitive systems. These parsimonious models present interesting qualities of robustness to the extent that self-organized collective behavior is less impacted in the case of failure of certain agents. We will argue later that these models might be made more complex, i.e., more embedded in the global coupling to which they contribute. The second element that grounds the numerical developments comes from empirical studies of spatiotemporal coordination in natural situations. Indeed, "natural" collective behaviors (e.g., the collective behavior of schools of fish, or the construction of termite mounds) have been fruitful sources for the development of models. These examples reflect a bio-design (i.e., bio-inspiration) approach, and contribute to propose novel assumptions while ensuring the empirical viability of the generated models. Markedly, the study of natural animal situations has supported the relevance of adopting parsimonious models insofar as these species (e.g., social insects) are equipped with rudimentary individual cognitive functions and do not collectively execute the instructions of a detailed shared plan but nevertheless produce collective behaviors that are sophisticated, adaptive, and robust (e.g., architecture of termite mounds). Beyond the spectrum of these studies in the animal world, the spatiotemporal coordination in **the human world still inspires little**

work on collective artificial intelligence (e.g., Buchin et al., 2014). Yet, human collective behavior has some properties that are of particular interest, especially in that humans may perceive the global properties to which they contribute and also may shift at some instances from one mode of regulation (e.g., participants adjust their ongoing activity by the use of local information) to another (e.g., adjusting their activity according to their perception of the global structure) when appropriate. On the one hand, the very few studies in human movement science that inspired swarm artificial intelligence aimed to understand mainly crowd phenomena (e.g., pedestrians, an applauding audience) (Néda et al., 2000; Turner & Penn, 2002). A main limitation of the value of these studies lies in that humans involved in a crowd behavior are not very concerned with the global collective behavior that emerge from their interactions; thus, making the outcomes of their coordinated behaviors unpredictable. At least, the collective behaviors inspired by such empirical phenomena are not directed toward the collective coordination. That is, the modes of regulation of each individual agent are not embedded enough in the states of the ongoing global structure that these agents contribute to produce together in real-time. On the other hand now, some studies in human movement science have yet to provide evidences of human interpersonal coordination being far more complex than that described in other organisms (e.g., the animal world). First issue to consider is that a large amount of these works hypothesized that human collectives could show emergent collective behaviors explained by complex systems-based models but without the mechanisms being reduced to modes of local regulation, as observed in animals. Indeed, the phenomena of weak and strong regulations introduced by Dubois (2003) suggest that the adjustments that occur between complex systems (i.e., between humans) might be embedded in multiple levels of organization. For instance, Marmelat and Delignières (2012) asked pairs of participants to synchronize the oscillations of hand-held pendulums. By manipulating the conditions, they evidenced that interpersonal coordination was based on non-local time scales, thus revealing that humans were able to coordinate not only because of short-term adaptations, but also because of a perception of some global coordination properties.

Despite the fruitful novel insights offered by studies on interpersonal coordination in humans, the experimental paradigms built do not use data related to spatiotemporal trajectories, which actually limits their extension and applicability in swarm artificial intelligence. Some other works have yet to describe how human displacements on a common space are embedded in the emerging global spatiotemporal patterns to which participants contribute (e.g., Bourbousson et al., 2014; Duarte et al., 2012). However, these works have been conducted on various sports fields within naturalistic investigations and are thus unable to propose a generic modeling of the laws of control (and their control parameters) that govern the coordination of multiple agents. Together, these elements highlight the need of an experimental paradigm that allows to study how individuals regulate the interplay between their trajectories (i.e., their relative positioning) in order to bridge the gap between human collective behavior's study and numerical applications. Building such experimental paradigm advance the knowledge of how diverse modes of

regulation can explain the emergence of spatiotemporal coordination. Regardless, if these modes of regulation of collective behavior varied, their extent in the literature is currently unclear (we detail the amount of these possibilities in the literature section above). In this light and to summarize, **the two general aims of the present project are i) to build an experimental design that will serve as a new paradigm for the research on human collective behaviors and their modes of regulation and ii) to transfer empirical results from human collective behaviors towards numerical science and related applications.**

Our goal is to conduct empirical investigations focused on exploring the complexity of the modes of regulation, the conditions that prevail in their apparition, and the conditions that ensure their viability. To achieve this goal, we need an epistemological approach to describe how human act and interact in collective setting. The usual approaches are not relevant for our purpose for two reasons. First, works conducted within the animal world use mostly numerical simulation of virtual agents to compare the simulated behavior to the real behavior of the considered species and assume that all members of a species in the collective behavior use similar modes of regulation (i.e., all fishes are moved by the same rules). However, in the case of humans, we will have to investigate each instant of the individual activities to reconstruct individual modes of regulation and compare them across participants. Second, the works conducted in human movement science (e.g., Marmelat & Delignières, 2012) used highly controlled experimental designs (i.e., synchronizing oscillations of hand-held pendulums) reduced to only two coordinating participants, which allowed them to interpret the modes of regulation based only on behavioral data. However, in the case of many participants moving within a common space, the study design would not allow us to interpret the mode of regulation for each participant using only behavioral data. These difficulties together argue for the use of a radical embodied cognitive science approach (Bruineberg & Rietveld, 2014), also called the *radically enactive perspective* (Laroche et al., 2014). Such an epistemological approach reflects an embodied cognition theory, postulating a structural coupling between the organism and its environment. To this hypothesis is added a phenomenological hypothesis (Laroche et al., 2014), proposing that individuals construct their own world, a space of meanings (i.e., a field of affordances; Bruineberg & Rietveld, 2014), which conditions the manner in which the organism-environment coupling happens. This hypothesis leads, in studies of the human world, to the joint mobilization of *first-person* (“from the inside”) and *third-person* (“from the outside”) approaches (Varela & Shear, 1999). The articulation of phenomenological data and “objective” (e.g., behavioral) data allows to provide a description of the organism-environment coupling that respects the individual’s own dynamics (Laroche et al., 2014; Seifert et al., 2014). For instance, in the case of the present project, a primacy given to the first-person approach in sampling the data will be very heuristic, aiming to carefully identify the nature of the information that supports the participants activities (e.g., a local information). This approach is particularly required when well-controlled experimental designs are not possible (Seifert et al., in press). Notably, the crossing of the first-person and third-person approaches has not been used extensively in

interpersonal coordination research except for the analysis of interactions between two subjects (e.g., Dumas et al., 2014; Froese et al., 2014; Poizat, Bourbousson et al., 2012). Analyzing larger groups using this approach is thus an original challenge. This approach will make it possible to inform the modes of regulation of collective behavior, to index them based on their behavioral and phenomenological conditions of occurrence, and to model the dynamics of transition/disruption/stabilization of these collective situations.

VALIDITY AND HEURISTICS OF OUR FRAMEWORK

Since the radical enactive approach as a contemporary approach of human activity has been used relatively rarely in artificial life sciences, we now elaborate a little bit more about its validity and heuristics. First, neurosciences introduced the preliminary developments regarding an enactive view of cognition. For instance, studies considered the subjective experience of the participants to understand the neuro-imagery patterns recovered from a third-person approach (i.e., external approach) (e.g., Thompson & Varela, 2001). Second, a large panel of works has then attempted to elaborate about the methodological conditions that are needed to recover subjective data that are reliable and scientifically valid (e.g., Froese, 2015; Petitmengin, 2006). These works together allow researchers to extend the preliminary works of Ericsson and Simon (Ericsson & Simon, 1980) by introducing verbal reports as reliable data in human cognition science. Third, many developments have been done by De Jaegher and Di Paolo (2007) to extend the enactive approach towards social cognition investigation. Fourth, recent works by Froese et al. have addressed the heuristics of a radical embodied cognition approach (i.e., enactive) in the field of artificial intelligence (e.g., Froese & Ziemke, 2009). They showed that this approach has matured and became a viable alternative with respect to the goal of programming artificial multiple agents. By inserting the role of sense making (and subsequent phenomenological assumptions), Froese and colleagues contributed to improve the link between artificial life concerns (e.g., evolutionary robotics) and social cognition studies (i.e., the dynamics of social interaction) (Froese & Di Paolo, 2009; Froese & Fuchs, 2012; Froese & Gallagher, 2010). Furthermore, in a full circle, they showed how artificial life simulations were in turn able to build some novel assumptions for further psychological experiments. Together, these works show how the framework, initially developed for human and social sciences, actually appears to be a valid and viable way of bringing human and numerical sciences together.

OBJECTIVES OF THE PROJECT AND RELATED CHALLENGES

To advance the knowledge in the light of the project purpose, four study objectives and related questions of research were pursued. Some of them might be attained simultaneously within the processing.

Due to the need to explore the possibilities for an agent to regulate his behavior when coordinating with other numerous agents in space and time, our first objective [**OBJECTIVE 1**] is to **identify the variety of**

modes of regulating human collective spatiotemporal behavior. This objective will be examined by considering the following questions:

Challenge 1.1. *What is the amount of modes of regulation that can organize an individual when participating to build a collective behavior?*

Challenge 1.2. *What is the extent to which these modes (see Challenge 1.1) are similar across the participants involved in a common coordination effort?*

Furthermore, certain studies conducted with non-human organisms suggested that the modes of regulation identified respectively occur in particular and favorable collective conditions. For example, the mode called *purely local arrangement* accounts for the usual mode of regulation identified in animal species' description. Alternatively, the mode called *estimation of global properties* has been observed especially in termites research (Perna et al., 2011). This mode of regulation is of specific interest in that it accounts for termites coordinating their respective activities by adjusting to ongoing traces of the state of the collective building (e.g., the density in a room indicates the global state of the building). Despite the direct interest of this mode of regulation, the authors showed that this mode depends highly on the state of the global form that emerges so that adequately salient traces can be considered locally. In this way, this mode may only be viable in very specific conditions (i.e., depending on the state of the global collective properties). Extending this hypothesis to a broader spectrum of collective tasks, it illustrates how research may [**OBJECTIVE 2**] **identify the viability of different identified modes of regulation in describing their conditions of possibility and effectiveness** (Bahrami et al., 2010; Bourbousson et al., 2014). This aspect constitutes the second objective of the present project, and it will be achieved by examining the conditions of the *adoption* of a given mode of regulation on the one hand and the process of *switching* from one mode to another on the other hand. Both of these aims will be addressed at both individual and collective level of analyses. The following questions will thus be considered:

Challenge 2.1. *What are the individual/collective spatiotemporal properties that explain the adoption of a given mode of regulation by a (or several) participant(s)? What are the individual intrinsic dynamic properties that better explain the adoption of a given mode of regulation?*

Challenge 2.2. *What are the individual/collective spatiotemporal properties that explain the need of a (or several) participant(s) to switch from a given mode of regulation to another?*

The third objective aims to extend the preceding hypotheses concerning the disruptions of the spatiotemporal coordination dynamics (e.g., Bourbousson et al., 2010) (i.e., robustness of the system with regard to modes of regulation). In robotics, for example, the dynamic variations of the speed of the robots' movement act as a control parameter, which modulates the quality of the "communication" between the agents and influences the robustness of the coordination at the system's global level (Nembrini & Martinoli, 2007). In human movement science, for example, the analysis of a dribble in rugby union helped authors propose variables that control the success of the attacker's activity. The authors compared the

effect of both interpersonal distance and relative velocity on the pattern-forming dynamics of attacker–defender dyads. The results revealed that “when interpersonal distance achieved a critical value of less than 4 m and relative velocity values increased or were maintained above $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, a successful outcome (i.e., clean attempt) for an attacker was predicted as a control parameter (Passos et al., 2008). It is thus of primary interest to understand how different modes of regulation of collective behavior are part of the temporal dynamics of an environment that changes/becomes disrupted through individuals’ participation in constructing/disrupting. Specifically, the third objective aims to **[OBJECTIVE 3] understand how the collective dynamics of mode-of-regulation-switching produces disruptions (i.e., destabilization of group order) and/or contributes to re-establishment of group order (i.e., resolution of the disruptions)**. This objective aims to identify “control parameters” that modulate the behavior dynamics of the system. It will be examined by considering the following question:

***Challenge 3.** Which variable might be proposed as a parameter that controls the emergent collective behavior’s stability with respect to the underlying modes of regulation?*

The fourth objective **[OBJECTIVE 4]** proposes **developing the obtained results in the direction of computational science** through their placement within a design using digital technology and virtual reality. This objective will be attained by adapting the models of behaviors of groups to numerical simulation. It will specifically serve to evaluate the results by including them in behavioral models of virtual humans. In this step, a database available in the MIP laboratory (e.g., Bourbousson et al., 2010ab, 2014) will serve as an indicator of collective behaviors observed in real situations. This objective will be examined by considering the following question:

***Challenge 4.** How does the simulated collective behavior fit with what is observed in real situations of collective behavior?*

AMBITIOUS AND/OR INNOVATIVE PROPERTIES OF THE PROPOSAL

The present project is innovative in that it is built on an interdisciplinary approach to collective behaviors in the humanities and social sciences (empirical phenomenological psychology, behavioral science, applied mathematics, digital technology and virtual reality). Interestingly, the present project simultaneously allows for advancing the knowledge on collective behaviors mechanisms in human and social sciences, and for producing results exploitable in the computational sciences. It is also innovative in that it aims to experimentally control for a quite large collective behavior of humans. Regarding this point, the methodological key-feature mainly relies on the radical enactive approach adopted here, which will allow us to sample the data by considering how each participant experiences the collective behavior. This innovation is needed when working on the modes of regulation that individuals adopt, since humans possess self-consciousness that make them fundamentally more flexible in the regulation of their activity (dislike animal species), which cannot really be controlled externally.

The development of a fruitful line of research is one of the important motors of the project. Our ambition is to build a new study paradigm. We focus here on fundamental questions of human and social science research built in line with how the field of multi-robots design might benefit from our research, but the paradigm should further allow for addressing various issues. For example, such a paradigm would be extended to two other fields: education and health. In the field of education, it should permit the study of phenomena of collective learning and the development of skills for “working together”. In the field of health, the constructed experimental paradigm opens the door to various tests of hypotheses with the impaired public, insofar as a difficulty functioning with others is a symptom of certain disorders (e.g., autism, major depression, schizophrenia, or social phobia) (e.g., Bardy et al., 2014).

NOVELTY REGARDING THE ACTUAL FIELD OF RESEARCH OF THE LABORATORY

The laboratory “Movement, Interactions, Performance” (EA 4334) at the University of Nantes conducts pluridisciplinary research. It is organized around two research axes. The first one focuses on investigating the neuromuscular function that governs human movement. The second one is related to the psychological adaptations of humans in various settings. Within this axe, the leader of the present project works in the thematic of “collective cognition”, targeting the processes of collective learning and collective performance in sports. Until now, his work has principally been in the cognitive ergonomics of natural sports situations, concentrating on the theory of enactivism and dynamical systems theory (Laroche et al., 2014). His work has utilized both qualitative methodologies (e.g., collection and analysis of verbal protocols) and quantitative methodologies (analysis of behavioral data).

The present project will contribute to advance the work of the laboratory, but is considered as being quite novel and unusual in that: i) it conducts an experimental design of collective functioning (what is actually not performed in the lab), ii) it directly addresses questions of research that are of general application (it is not sport-specific), and iii) it requires investigations in computational science to finalize the results.

EXPECTED RESULTS

While our project is experimentally designed, it is quite exploratory. Hence, the expected results are formulated regarding this exploratory nature of the studies. We restate the objectives (that include several challenges) and insert the related expected results in a synthetic manner.

[OBJECTIVE 1] - Identifying various modes of regulation in human collective spatiotemporal behavior.

Result 1. We expect to identify the amount of typical patterns of regulating activity carried out by participants, i.e., from purely local adjustment to global complexity matching. The various modes of regulation (that lie between the lines of the local and global modes respectively) will be defined in light of how individual activity of the considered participant and the global patterns of collective behavior that emerge are (or not) mutually interacting.

Result 2. We expect to associate each identified mode of regulation with a degree of ‘collective adoption’, that is, a probability to simultaneously appear across various participants involved in the collective behavior.

[OBJECTIVE 2] - Identifying the viability of different modes of identified regulation, in describing their conditions of possibility and effectiveness

Result 1. We expect to identify a configuration of spatiotemporal factors (e.g., relevant to various levels of analysis; individual-, dyadic-, triadic-, collective-levels) that explain why an individual adopts a given mode of regulation at a given instant. One or more clusters of parameters predictive of subsequent regulating activity will be formalized (i.e., regarding each individual mode of regulation identified within Objective 1).

Result 2. We expect to provide a probability of switching from one mode of regulation to another. This probability will be indexed with various possible states of the individual spatiotemporal behavior and with various possible states of the collective behavior.

Result 3. We expect to index the probability of having a mode-of-regulation’s ‘collective adoption’ with various configurations (i.e., profiles) of spatiotemporal factors (e.g., relevant to various levels of analysis; individual-, dyadic-, triadic-, collective-levels). For example, when the collective behavior is disturbed, the probability of having a collective adoption of the individual modes of regulation significantly increases.

Result 4. Considered together, these results should allow for delimiting the area of viability for each of the typical profiles of activity (and their sharedness at the collective-scale). The final description of the probability of adopting/switching the modes of regulation might be synthesized in the following matrix. [*Individual level of description*] When the individual agent’s spatiotemporal dynamics manifests the profile X, then the probability of adopting the mode of regulation A is..., the probability of adopting the mode of regulation B is...; and so on for each profile (profile Y, Z,...) of individual spatiotemporal dynamics while at the same time considering the probability of switching between modes of regulation ($A \rightarrow B$, $A \rightarrow C$, $A \rightarrow D$...; $B \rightarrow C$, $B \rightarrow D$...). [*Upper level of description*] The previous procedure will be repeated by considering the patterns of collective behavior (i.e., stable vs disturbed) as the conditions (i.e., independent variables), and the degree of similarity in modes of regulation as the probability to be found.

[OBJECTIVE 3] - Understanding how the collective dynamics of mode-of-regulation-switching produces disruptions (i.e., destabilization of group order) and/or contributes to their resolution (i.e., re-establishment of group order).

Result 1. We expect to propose an equation that at best captures the dynamics of the spatiotemporal collective behavior. Inspired by complex systems modeling, we expect that the equation will include a stochastic function (thus giving to variability a functional role within the

system behavior) and a function that controls the dynamics of stabilization/disruption of the system's behavior (a parameter of control).

Result 2. By sampling the spatiotemporal data in terms of the various modes of regulation (the number of conditions will depend on the number of modes of regulation identified within the Objective 1), we expect to propose some variants of the equation that at best capture the collective behavior with respect to each data set (i.e., each mode of regulation).

Result 3. By sampling the spatiotemporal data regarding the modes-of-regulation's degree of similarity across participants, we expect to model the dynamics of 'collective adoption' of modes of regulation. The same procedure as the one leading to Result 2 will be performed to supplement initial equation in this regard.

[OBJECTIVE 4] - Developing the obtained results in the direction of computational science.

Result 1. Using the results obtained from the previous stages, we expect to numerically simulate a collective behavior of virtual humans. It is expected that the virtual agents autonomously adopt and change their individual modes of regulation to maintain the viability/credibility of the collective behavior.

Result 2. We expect to provide a score of credibility of the simulated collective behavior by comparing it to real setting's spatiotemporal coordination.

STATE OF THE ART ON THE TOPIC OF REGULATING INTERACTING BEHAVIOR

Identifying the underlying principles (i.e., modes of regulation) that can rule spatiotemporal collective behavior is a huge and near-to-impossible task (Sen, 2015). Theoretical and empirical contributions on this topic have been done within various scientific fields: ethology, artificial intelligence, robotics, group psychology, human movement science, etc. All these areas of research identified and/or proposed some interacting rules that could govern the individual agents' behavioral dynamics and allow for building a global emergent structure of collective behavior (Zhang et al., 2008). Thus, the following section is not exhaustive. We rather selected some pieces of literature that best explain how the question of regulating collective behavior is scientifically discussed. Of note is that the project collaborators have various skills that make them prominent in different areas of the literature understanding. Bourbousson is prominent in human and social sciences area; Kulpa and Lamarche are prominent in swarming intelligence field; and Dumas is prominent for the mathematical advances in searching for patterns in trajectories data.

Concerning the literature on building spatiotemporal collective intelligence, most studies have focused on the processes enabling the emergence of collective behaviors that are complex (i.e., complex to establish based on a specification of behavior for each agent), flexible (modulation of the system's functioning to improve its environmental coupling), and above all robust (persistence of the system attributes despite disruptions and/or progressive rather than sudden degradation of collective performance

in the case of failure; Nembrini & Martinoli, 2007). Two research streams may be pointed out. The first one is the most classic. It is conducted in numerical sciences and aims to test/improve/retest the relevance of algorithms (e.g., *Three-Circle* model, Zimmer, 2007) designed by the research team and hypothesized ‘control laws’ governing the individual and subsequent collective behavior (e.g., Yang et al., 2011). Regarding spatiotemporal concerns, these control laws are generally conceived as a combination of attractive/repulsive or alignment forces of mobile autonomous agents (Reynolds, 1987; Shi et al., 2006) producing dynamical variations in speeds and direction of the given agents within the numerical simulations. Such simulations serve to illustrate the heuristics of the algorithms and/or to evaluate the likelihood of the obtained simulated multi-agents behavior (Ballerini et al., 2008). The second stream, although less developed but of great interest (Martinoli et al., 2002), is concerned with empirical investigation of biological settings of spatiotemporal coordination (i.e., bio-design) (e.g., Haque & Egerstedt, 2009). Swarming behaviors of school of fishes, flock of birds, or ant societies and other social insects have been (and always are) the fields that mostly inspired the research (Buchin et al., 2014; Rauch et al., 1995). These works mainly showed the heuristics and likelihood of modeling agents as being governed by rules triggered by their local condition rather than global information (Goldstone & Janssen, 2005). Observable collective-level patterns thus emerge from self-organized interacting behaviors without being explicitly targeted. These modes of regulating interacting behavior have been fruitful in artificial intelligence (e.g., swarming robotics), and such studies opened up novel ideas and offered real-world settings to investigate such research questions.

However, despite the strong attractiveness of the local-based models in the various areas of research, many works still exist that defend the fruitfulness of other modes of regulation. Most of these works thus try to explain how and why purely local interacting behaviors might not be the only way of conceptualizing collective behaviors. How can agents regulate their interactive behavior other than performing local adjustments? This is not a very frequent research question due to the parsimony of local-based models, which is very attractive. However, while the parsimony of the model is of major concern (e.g., developing systems that minimize the energy cost), such models can produce sub-optimal responses when applied to multi-agent systems, notably those acting in the real world (e.g., Haque & Egerstedt, 2009). Moreover, varying uncertainties and complexities of the environment in which the multi-agents system is embedded may make the mode of regulation not accurate at each instant of the collective behavior dynamics (Sen, 2015). Finally, the goal of the behavior in the model (i.e., its teleology) is another no less important issue; at a very least, teleology the system aims to maintain its structure. Within a more complex teleology, the system can attain more specific and context-based aims. In this light, some authors have claimed that the future of collective behaviors’ programming should lie in their ability to have a direction (Rubenstein et al., 2014; Zhang et al., 2008).

By way of (non-exhaustive) illustration, other modes of regulation have been suggested in scattered areas of the research. For example, the recent work conducted by the team of Nagpal in robotics (Rubenstein et al., 2014) illustrates how collective behaviors can allow for attaining some specific and pre-planned goals (i.e., like drawing a star). They proposed a spatiotemporal coordination regulated at the agent level by local rules of interaction, to which is added a specific regulation for certain agents who receive instructions from the outside. This mode of regulation is more complex than purely local adjustments modes, but it allows for the emergence of more powerful and directed collective behavior. In an older line of research, Parker (1998) has shown that collectives composed by reasonably numerous agents (i.e., less than twenty agents; e.g., what can be found in a lot of virtual reality or in small group from the everyday life) can be efficiently coordinated when agents can access the ongoing ‘global picture’ they contribute to forge. This mode of regulation allows for giving rise to collective behaviors that can be directed to very specific purposes, thanks to agents that can perceive/update in real-time the value of their contribution to the collective movement. Within numerical sciences, this mode of regulation calls for a computational system that makes the synthesis of the local behaviors and the outcomes of their interactions and then returns this global picture to individual agents. When studying social insects’ collective behavior, the team of Theuraulaz (Perna et al., 2011) has suggested a mode of regulation that they called *estimation of global properties*. By this notion, the authors argued that termites are not only able to coordinate using purely local arrangement but also by picking up local information that reflects at the same time the emerging global form, e.g., the local density of a room in a termite mound is a local ‘trace’ that manifests the global advancement of the mound. In the field of human movement science, researchers have yet to provide evidences of human interpersonal coordination being far more complex than being purely locally adjusted. For example, a regulation mode “by the global spatiotemporal form that emerges” is identifiable from the paradigm of the bimanual task extended to the synchronization of two individuals in the work on interpersonal coordination in humans (Schmidt et al., 1990). From the interaction of two participants in an experiment emerges a specific collective state of stable coordination (between their upper limbs). Here, the human agents act directly based on their global perception of their cooperative effort rather than local indicators. Our recent work has also provided evidences of human individual action being supported by information relevant to the global scale of collective behavior (Bourbousson et al., 2014). Conducted in natural basketball settings, the authors investigated the nature of the constraints that gave rise to a suddenly dribble to the basket. The results showed that the main effect was observed for global spatiotemporal variables (i.e., stability/perturbation of the geometrical centers’ dynamics of the interacting teams). In the same vein, but in a study limited to two coordinating participants, Marmelat and Delignières (2012) asked pairs of participants to synchronize the oscillations of hand-held pendulums. They revealed that humans were able to coordinate not only because of short-term adaptations, but also because of a perception of the global coordination properties (i.e., estimating the

global determinism of the unfolding events). A good candidate to summarize the actual state of the art is the conceptualization of Dubois (Dubois, 2003). The author introduced the phenomena of weak and strong regulations that can be applied to robotics as to human and social sciences. The author suggested that the adjustments that occur between coordinating complex systems (e.g., between humans) are embedded in multiple levels of organization. One agent can regulate his behavior by adjusting locally at a given instant, but the many levels of organization and their related perceptual indices can also support the individual behavioral regulation.

Anyway, the researches together confirm the hypothesis that the study of human collectives is likely to reveal various other modes of regulation of collective behavior compared to those observed in collectives of agents of limited intelligence. Regardless, if these modes of regulation of collective behavior vary, their extent and the way in which these modes can co-occur in the dynamics of a cooperative effort are currently unclear. As Bellarini claimed, unfortunately, without decisive empirical and experimental investigation, it is difficult to discuss the various possible modes of regulation and therefore to understand the conditions that favor each of these modes (Ballerini et al., 2008).

SOCIETAL AND INDUSTRIAL CHALLENGES

This project aims to generate knowledge from the study of the dynamics of group behavioral patterns and their disruption/stabilization. It falls within the field of social sciences (SHS), although through its interdisciplinary character, it equally entails the use of advanced mathematical tools and digital technology (simulation of virtual immersive reality). While the project eventually outlines possibilities for conceiving “protocols for communication between robots”, which come under challenge 7 (axis 7, Human-machine interactions, connected objects), it includes “a significant portion of research in the humanities and social sciences” and “the digital portion is limited to the use of state-of-the-art instruments” (ANR, Generic Call for Proposals, p. 69). This project thus falls mainly under **challenge 8** (Innovative, integrative, and adaptive societies), **Axis 1** (Relation to risk and social innovation), targeting questions such as, “What are the factors of individual and collective creativity? Cooperation or competition, tacit or planned exploration?” (ANR, Generic Call for Proposals, p. 79). Collective creativity, flexibility, and autonomy are key factors for the processes of collective intelligence.

The consequences for society are mainly to provide a heuristics to improve modeling systems in the numerical sciences, ranging from swarm robotics to the modeling/simulation of agents in virtual reality-based systems. In this regard and while this target is medium/long-term feasible, swarm robotics is conceived as a possible field of studies that can extend our expected results and implement multi-robot systems mainly on their “relative positioning” valence (Nembrini & Martinoli, 2007). For instance, the field of multi-robots design, drones’ armies, multi-robots mine clearing, seabed clearing and exploration might be potentially interested in the study paradigm drawn in the present project.

Potential consequences of these studies may be extended long-term to two other fields: (b) collective learning and the development of skills for “working together” (i.e., education); and (c) health, as the constructed experimental paradigm opens the door to various tests of hypotheses with the impaired public, insofar as a difficulty functioning with others is a symptom of certain disorders (e.g., autism, major depression, schizophrenia or social phobia) (e.g., Bardy et al., 2014).

SCIENTIFIC PROGRAM / ORGANIZATION OF THE PROJECT

DESCRIBING THE SCIENTIFIC PROGRAM

The scientific program is similar to what was introduced as the “proposed methodology” in our pre-proposal. Four main stages are planned: i) Constructing an experimental study paradigm of spatiotemporal coordination in human collectives; ii) Collecting empirical data of the unsorted participants; iii) Processing the data; and iv) Developing these obtained results in the direction of computational science. First, we restate these elements. Second, further sections (i.e., elaborating the tasks) will detail how each stage will be decomposed in tasks and how these tasks are related to the scientific objectives. It will further illustrate the methods that will be carried out.

The first stage consists of constructing an experimental study paradigm of spatiotemporal coordination in human collectives. The study situation aims to ensure the immersion of the participants in the coordination task, leading the collective behavior to progressively stabilize (or not) around “collective forms” identifiable through analysis and permitting each participant to modulate his/her behavior and to ensure that participants contribute to the collective behavior. The plan anticipates placing around twenty subjects in situations in which they coordinate themselves through their movements in a vacant, flat space of 30x30m. The specific instructions (thus constituting several experimental conditions), relating to goals of different “natures”, are provided to participants before the task. The first category of instructions will relate to i) manner of conducting individual behavior (e.g., maintaining a stable speed). The second category will relate to ii) manner of interacting with other participants. This second category of instructions aims to stimulate/control the modes of regulation directly. Within this category, the first panel of instruction will be related to “local-based” coordination rules (e.g., not entering a given radius around each participant; i.e., repulsion). The second panel will relate to “global-based” rules of coordination, e.g., related to the maintenance of a global form of movement (e.g., moving while avoiding forming sub-groups). The definition and pre-testing of these instructions are of major importance. They have to involve the participants in a similar coordination task (i.e., maintaining the coordination quality) by controlling the

nature of their mode of regulation (i.e., we expect that more than half of the participants' activities will be directed towards the nature of the mode of regulation imposed) while opening possibilities for i) observing variations in operationalizing the given instruction, and ii) observing moments of switches to unexpected modes of regulation. Such behavioral adaptations of participants will occur especially in sudden dilemma settings, e.g., predominantly maintaining speed stability vs. predominantly maintaining the quality of interaction with the others. As such, these expected 'variations' in the way in which each participant conducts his/her task are the reasons for which humans interacting activities have been retained to capture the complexity of adapting the modes of regulation. While pre-tests have been initiated (Master Sc. supervision) and are very encouraging, the finalization of these enough-controlling instructions will be the necessary first part of the work. To stimulate and control participants' involvement (i.e., compliance with instructions), an objectification of their success by behavioral measurements (e.g., degree of maintaining a stable speed; degree of intruding in others' space) is provided and introduced to them as an 'ability-to-coordinate indicator'. In the light of the experimental design planned, the modes of regulation are likely to change over time for the same participant, to be more or less "shared" by the participants, and to modulate the stable/unstable character of the collective behavior.

The second stage consists of collecting empirical data of the unsorted participants. The gathered data will refer to first- and third-person approaches. Phenomenological data (first-person data) collected from the interviews prompting self-confrontation and explicitation techniques (in collaboration with Saury) will be collected to report the experiential dynamics of each participant during the task. This data targets the identification of the subjects' intrinsic logic of perception/action. Spatiotemporal data (third-person data) will be additionally collected with a device capturing behaviors (indoor GPS, Catapult system). This data targets i) the identification of individual behavior properties, and ii) the identification of "collective forms" emerging from interpersonal coordination (Duarte et al., 2012) at different levels of analysis as well as the stabilization/destabilization of these forms.

The third stage consists of data processing. First, the phenomenological data will be analyzed with respect to the analytical framework of the course-of-action (Theureau, 2006) to explain the nature and dynamics of the significations generated by the participants and their dynamic similarities within the collective (analysis of actors' concerns and perceptual indicators contributing to orienting their engagement in the task as well as an analysis of the collective dynamics of these concerns and perceptual indicators in collaboration with Saury). Second, the spatiotemporal data will be analyzed in terms of metastability of processes at work in the collective behavior (Tognoli & Kelso, 2014). Collective behavior will be captured by identifying relevant collective variables that are macroscopic and indicate the state of the system (e.g., surface covered, average distance between individuals or average speed of the collective, e.g., Duarte et al., 2012). The specific contribution of each actor to the collective patterns will be captured using individual level variable (e.g., spatial distribution maps, Voronoi diagrams and cluster phase method). This analysis

will be conducted specifically considering the dynamics of individual speed and relative positioning to other participants (e.g., distance, relative phase) (Araujo will particularly be involved at this step of the analyses). Metastability phenomena will be then detailed and summarized by use of advanced mathematical tools (i.e., Granger causality; analyses of system degeneracy, in collaboration with Dumas and Seifert). Third, the crossing of these analyses will permit “multi-level” modeling (e.g., Dumas et al., 2014) and subsequently an integrative characterization of modes of regulation of collective behavior, their effectiveness, and their dynamics. Finally, in post-processing, an identification of moments of system disruption (i.e., using dynamical systems theory tools) will allow us to return to the preceding analyses to explain the occurrence of critical situations (i.e., destabilized collective order) and/or to explain their resolution (i.e., re-establishment of the collective order).

The fourth stage consists of applying the obtained results to computational science by placing them in behavioral models of virtual humans. This stage, realized in collaboration with Lamarche and Kulpa, will make it possible to simulate agent-based models and to observe the relevance of these results by comparing the emerging behaviors of groups of virtual humans and data obtained in real situations (database available in the MIP laboratory; Bourbousson et al., 2010ab, 2014).

RELEVANCE OF THE RESEARCH’S SEGMENTATION, TASKS, OBJECTIVES AND PARTICIPANTS’ PREFERRED CONTRIBUTIONS

The research will allow us to fulfill the scientific objectives (and related scientific challenges). It will comprise several discrete tasks, and it will be completed by several preferred participants to support the scientific leader Bourbousson. The sequence of these tasks is detailed in the Table 1, and it provides a logical introduction of the overall relevance of the project’s structure. While manuscripts’ writing and literature review are considered important, they have not been included in the present plan to clarify the empirical component of the present project.

Scientific program	Tasks	Tasks' details	Scientific objectives	Participants' contributions
<p>First stage: Constructing an experimental study paradigm of spatiotemporal coordination in human collectives.</p> <p><i>The specific instructions (thus constituting several experimental conditions) relating to goals of different “natures” are provided to participants before the task. The definition and pretesting of these instructions will be an integral part of the work.</i></p>	Task 1	<p>[<i>Conducting pre-tests</i>]</p> <p>-Building several instructions that should engage participants in a collective behavior</p> <p><i>Method: Giving alternatively local-based vs global-based coordination instructions</i></p>	Experimental design	<p>J.Bourbousson</p> <p>G.Dumas</p> <p>PhD student</p>
		<p>-Recruiting participants for multiple sessions</p> <p><i>Method: Unsorted participants</i></p> <p>-Conducting several instructional protocols (video recording) and post-session interviews</p> <p><i>Method: Sessions of 5 minutes of collective coordination in an indoor space of 30x30m</i></p>		<p>J.Bourbousson</p> <p>PhD student</p> <p>J.Saury</p>
	Task 2	<p>[<i>Analysis of participants' involvement in the design</i>]</p> <p>-Describing the subjectivity of the participants when involved in the tested separate designs</p> <p><i>Method : Analysis of Self-confrontation interview techniques</i></p> <p>-Comparing the subjective activities of participants across the designs to select the retained instructions.</p> <p><i>Method : Criterion for the retained instruction: the instructions should control the participants activities enough while allowing for occurrences of intra- and inter-variability (i.e., switching from one mode of regulation to another)</i></p>		

<u>Second stage: Collecting empirical data.</u>	[Data collection]	J.Bourbousson
Phenomenological data will be collected to report the experiential dynamics of each participant during the task from interviews techniques.	-Organizing experimental sessions <i>Method: Unsorted participants</i>	-PhD student
Spatiotemporal data will be collected with a device capturing behaviors. This data targets (a) the identification of individual behavior properties, and (b) the identification of “collective forms” emerging from interpersonal coordination at different levels of analysis.	Task 3 -Collecting phenomenological data <i>Method: Self-confrontation interview techniques (thanks to the video recording)</i> -Collecting spatiotemporal data <i>Method: Indoor GPS device (Catapult system)</i>	
	[Synchronization of participants’ individual data]	J.Bourbousson
	-Synchronizing the phenomenological data of all participants <i>Method: Synchronization of each individual verbalizations with objective time codes</i>	PhD student
	Task 4 -Synchronizing the individual spatiotemporal time series <i>Method: Plot of the multiple time series and lag correction (use of video recordings)</i> -Synchronizing the phenomenological and spatiotemporal data <i>Method: Step-by-step check of the time codes and synchronization points</i>	
<u>Third stage: Processing the data.</u>	[Phenomenological data analysis]	Objective 1 J.Bourbousson
Phenomenological data will be analyzed with respect for the analytical framework of the Course-of-action (Theureau, 2006), to explain the nature and	Task 5 -Step-by-step account of the dynamics of each participant’s experience <i>Method: Construction of the ‘course-of-experience’ of each participant</i>	PhD student J.Saury
		→Challenge 1.1

dynamics of the significations generated by the participants, and their dynamical similarities within the collective.

-Identification of the amount of modes of regulation exhibited by participants

Method: Thematic analysis of participants' experience

-Identification of the individual dynamics of switches across the modes of regulations

→Challenge

Method: Reduction of the individual 'course-of-experience' of each participant into a singular dynamics of modes of regulation switches across time

1.2

-Identification of similarities across participants' dynamics of modes of regulation

Method: Synchronization of the courses-of-experience and of their related reductions

Spatiotemporal data will be analyzed regarding metastability processes at work in the collective behavior.

Collective behavior will be captured by identifying relevant collective variable (e.g., surface covered, average distance between individuals or average speed of the collective).

The specific individual contribution of each actor to the collective patterns will be capture by individual-related variable (e.g., spatial distribution maps, Voronoi diagrams and cluster phase method).

[Spatiotemporal data analysis]

Objective 2 J.Bourbousson

-Identification of the most relevant collective variables that capture the collective behavior

→Needed- PhD student

for-Challenges G.Dumas

Method: Calculation of various metrics' time series (i.e., geometrical centers dynamics, surface area covered dynamics, average speed dynamics, stretch index dynamics)

2.1/2.2 L.Seifert

D.Araujo

Task 6

-Identification of the most relevant individual variables that capture the specific individual contributions to the collective behavior

→Needed-

for-Challenges

2.1/2.2

Method: Calculation of various metrics' time series (i.e., spatial distribution maps, Voronoi diagrams, cluster phase method)

-Description of meta-stability laws of the system

→Needed-

Meta-stability will be determined by using advanced mathematical tools (i.e., Granger causality; analyses of system degeneracy).

Crossing these analyses will permit their “multi-level” modeling, and in fine an integrative characterization of modes of regulation of collective behavior, their conditions of effectiveness, and their dynamics.

Identification of moments of system disruption (i.e., using dynamical systems theory tools) will enable a return to the preceding analyses (post-processing) to explain the occurrence of critical situations and/or to explain their resolution.

	<i>Method: Analysis of the systems’ degeneracy, calculation of Granger causality</i>	for-Objective 3	
	[Crossing phenomenological and spatiotemporal data analyses]	Objective 2	J.Bourbousson
	-Analysis of the conditions of effectiveness of each mode of regulation	→Challenges 2.1/2.2	PhD student G.Dumas L.Seifert
Task 7	<i>Method: Sampling the spatiotemporal data with respect for the individual modes of regulation and their sharedness (i.e., as many samples as modes of regulation identified in phenomenological data) (samples=first-order samples)</i>	→Challenges 2.1/2.2	
	-Identification of the configurations of spatiotemporal variables’ properties that at best differentiate the samples		
	<i>Method: Cluster analysis (i.e., clustering)</i>		
	[Collective behaviors disruptions]		J.Bourbousson
	-Identification of the moments of disruption within the first-order samples (i.e., the modes of regulation) at the collective behavior level of analysis	Objective 3 →Needed- for-Challenge 3	PhD student G.Dumas D.Araujo L.Seifert
Task 8	<i>Method: Variability and perturbation identification with respect for Dynamical Systems Theory ; Sampling the first-order samples to separate them into two samples (i.e., second-order samples) regarding each mode of regulation</i>		
	-Identification of the configurations of spatiotemporal variables’ properties (different levels of analysis) to differentiate the samples		
	<i>Method: Cluster analysis (i.e., clustering)</i>		

	[Equation setting]	Objective 3	J.Bourbousson
Task 9	-Formulating order parameters and control parameters with regards to the extent of the modes of regulation <i>Method: Setting an equation that at best includes the disruption/stabilization dynamics observed</i>	→Challenges 3	Post-doctorate G.Dumas R.Kulpa F.Lamarche
Fourth stage: Developing the obtained results in the direction of computational science.	[Algorithm construction]	Objective 4	J.Bourbousson
Placing the results in behavioral models of virtual humans. This stage will make it possible to simulate agent-based models.	Task 10 -Programming the algorithm <i>Method: Completing/improving existing code of the virtual humans simulation</i> -Modulating the number of agents to smaller and larger scales <i>Method: Simulating collective behaviors</i>	→Needed-for-Challenge 4	Post-doctorate R.Kulpa F.Lamarche
Comparing the emerging behaviors of groups of virtual humans and data obtained in real situations, by use of a database available in the MIP laboratory.	Task 11 -Comparing the properties of the collective behavior obtained with human real collective behaviors <i>Method: Inferential statistics for conditions comparison</i>	Objective 4 →Challenge 4	J.Bourbousson Post-doctorate R.Kulpa F.Lamarche

Table 1. Declination of the scientific program into a multiple tasks design, with respect for the planned scientific objectives.

DELIVERABLES AND INDICATORS OF SUCCESS

We expect to publish 4 consistent manuscripts over the three years of the project. The first manuscript will present the results of the Objective 1 that will be submitted to a journal within cognitive sciences. The second manuscript will present the results of the Objective 2 that will combine the phenomenological and spatiotemporal data to analyze the effectiveness of the modes of regulation ruling the collective behavior, which will be submitted to an inter-disciplinary journal. The third manuscript will present the results of the Objective 3 that will be submitted to a journal focused on mathematical modeling of life phenomena. The fourth manuscript will address the results of the Objective 4, which will be submitted to a computational sciences journal. Beyond these academic deliverables, an important deliverable is related to the Objective 4, in which involves programming an algorithm that simulate collective behaviors.

Indicators of success during the first three stages of the scientific program are closely tied to the level of the journals in which manuscripts will be published. The target is to publish our results in journals that have impact factors which are around 4, and as much as possible in open access journals (or by purchasing open access fees). At the last stage of the scientific program (i.e., developing the obtained results in the direction of computational science), the indicator of success is to provide our algorithms to a company of the numerical sciences. We are actually linked to the start-up project 'Golaem' (Kulpa and Lamarche, participants within the present project, are co-founders of this company) that produces a software specialized in 3D numerical animation. The implementation (i.e., at the very end of the project) of their specific Golaem-Crowd product would be an important step to confirm the numerical applicability of our research ambitions.

RISK ANTICIPATION

The present project is quite low risk. First, the data collection is secure: i) The phenomenological data are recovered using validated interview techniques administered by two experienced researchers (Bourbousson & Saury); ii) The spatiotemporal data will be recovered using a high-accuracy tracking system (i.e., 10-15cm absolute positioning accuracy) that is appropriate for indoor designs (i.e., Catapult OptimEye T5 Local Positioning system). This device will be purchased from a well-known industrial supplier in team sports positional data recovering. Second, the data analyses are secure: i) we will use free software for statistical works (R project); ii) statistical skills of the investigators are diversified; and iii) the numerous calculations planned are expected to provide significant results will be found. Third, the ambition of the project is high, and a critical risk might be the amount of human resources attached to such a project. This risk has been counter-balanced by recruiting 36 month for a PhD student and 18 months for a post-doctorate position.

Hence, the main risk relies within the heuristics of the study settings. This study setting will have to control enough the participants' activities while allowing for some intra- and inter-individual variability (i.e.,

to observe mode-of-regulation dynamical switches). First, this risk is tightly related to the scientific potential of such a successful investigation. Second, the recruitment of a PhD student whose duty will be to build/analyze/validate a collective behavior’s protocol will help make this step successful. Seven months have been devoted to the planning of the project (see following section). Intensive data collection will start following the scientific validation procedure.

TASKS’ SEQUENCE

The tasks have been planned as illustrated in the following Gantt chart. The expected contributions of participants also appear in this block diagram (Diagram 1).

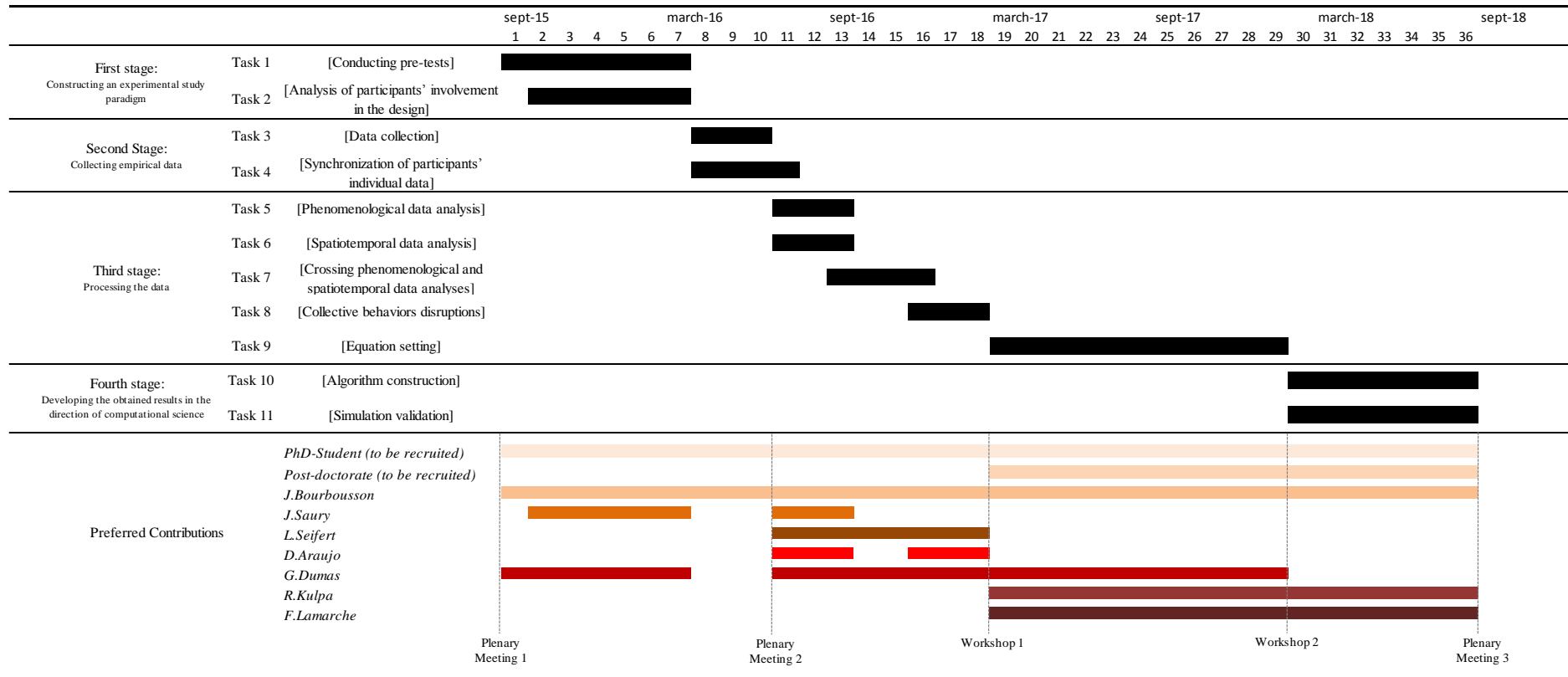


Diagram 1. Upper panel. Gant diagram of tasks across the timespan of the project. **Lower panel.** Preferred contributions of participants to the tasks.

DETAILED ELABORATION OF THE PLANNED METHOD

Notably, most of the following illustrations, especially those of the data that will be processed, are “fictitious” and only serve to describe methodology. Some illustrations have been inspired by previously conducted studies in sports settings and have no other relevance than just exemplify the nature of the data that will be collected.

The following sections illustrate the main steps of the method (see the sequence of the tasks and objectives to understand the use of these methods in the overall rationale of the project).

Study setting

As illustrated in Figure 1, the study setting (i.e., it will be validated or changed during the Task 1 and Task 2) will comprise situations in about 20 selected subject will coordinate themselves by their movements in a vacant, flat space of 30x30m. The specific instructions, relating to goals of different “natures”, are provided to participants before the task. Generally, the instructions will include guidelines for conducting individual behavior (e.g., maintaining a stable speed) and interacting locally with other participants (e.g., not entering a given radius around each participant; i.e., repulsion). A camcorder will be used to videotape the behaviors. Each participant will wear camera-glasses (these videotapes help the self-confrontation interviews to be conducted).

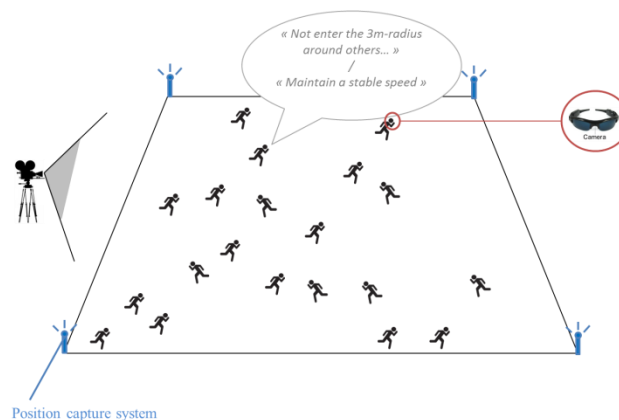


Figure 1. Illustration of the type of experimental design that will have to be validated. The appropriate number of participants coordinating their trajectories also has to be determined.

Spatiotemporal data

Spatiotemporal data recovering

The spatiotemporal data will be collected using a high-accuracy tracking system (i.e., 10-15cm absolute positioning accuracy) that is viable in indoor designs (i.e., Catapult OptimEye T5 Local Positioning system; *to be purchased*). As stated by the provider, “The system uses stadium mounted or portable wireless base stations that are used to calculate the position of players, with between 12-15 being required to cover a stadium/training area. Once the mounting positions have been set up, the base stations can be moved

between facilities and set up in 15 minutes and can be either hard wired into the mains or work off battery power” (retrieved from) (Figure 2).



Figure 2. The Catapult Optimeye T5 Local position system, as introduced on the website of the provider (retrieved from <http://www.performbetter.co.uk/performance-monitoring/catapult-optimeye-t5-indoor-monitoring-system.aspx>)

Spatiotemporal data analysis

After identifying the digitized movement displacement trajectories of each participant on the field and their synchronization, the recovered time series will be filtered (i.e., low-pass Butterworth filter). Various indicators will then be calculated at various levels of organization of the collective behavior. At an individual level of analysis, by using positions, speed, and number of proximate participants' times series (e.g., Figure 3), we will calculate metrics that account for the individual dynamics of action and for the individual contribution to the team behavioral properties, as illustrated by the type of diagrams in the Figure 4.

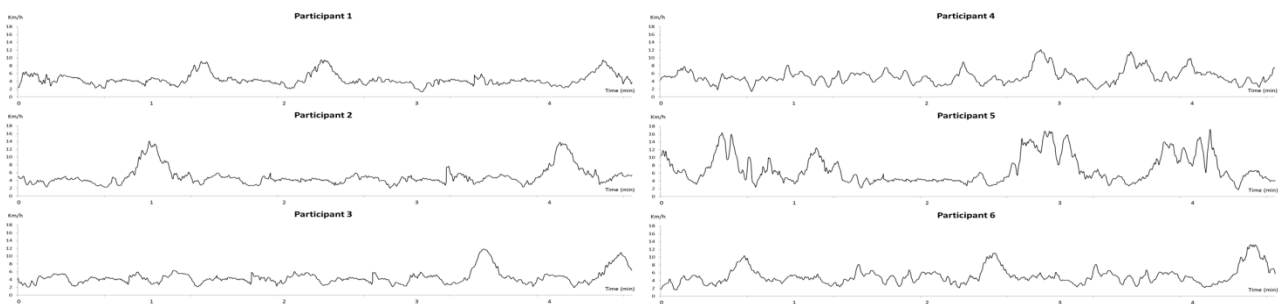


Figure 3. Illustration of how participants' positional data recovered at each instant help to build time series that account for the dynamics of each individual involvement

To estimate the individual profile of trajectory (Figure 4), for example, the movements displayed by a participant around a specific geometrical centre or locus on field, can provide information on important individual behaviors. The locus represents the participant's spatial positional reference around which he/she oscillates. Through the assessment of the variability associated with these oscillatory movements, it can be inferred how participants manage space and time to converge towards and away from their spatial references during the session. To calculate a spatial distribution maps, the pitch will be discretized into bins

and the amount of time spent in each bin will be measured according to the sampling frequency of the acquisition system. The spatial distribution maps will then be normalized to total session time to produce spatial probability distributions (2D).

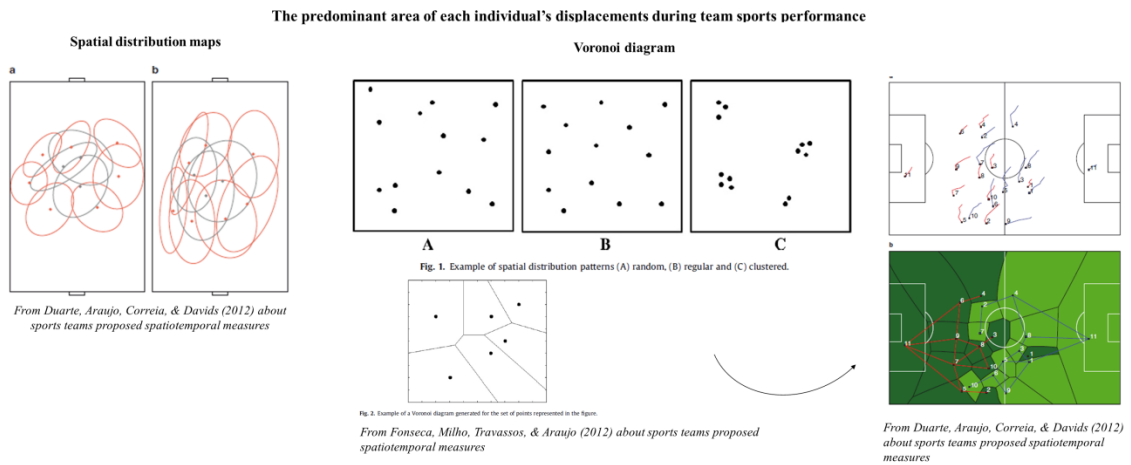


Figure 4. Illustration of measures of ‘individual contribution to the collective behavior’, conducted using the example in the specific area of sports science by the team of Duarte Araujo.

At a collective level of analysis, we will use metrics (i.e., collective variables) like geometrical center (Bourbousson et al., 2010, 2014), surface area covered (Duarte et al., 2012), stretch index (Bourbousson et al., 2010, 2014), or average speed. Such metrics are illustrated in Figure 5. Examples of the times series recovered are shown in Figure 6.

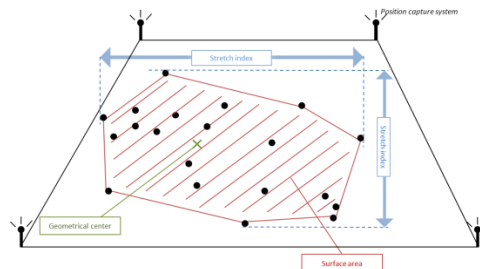


Figure 5. Illustration of how participants’ positions at each instant may be used to identify collective behaviors properties. In the example, geometrical center, surface area, and stretch index are illustrated

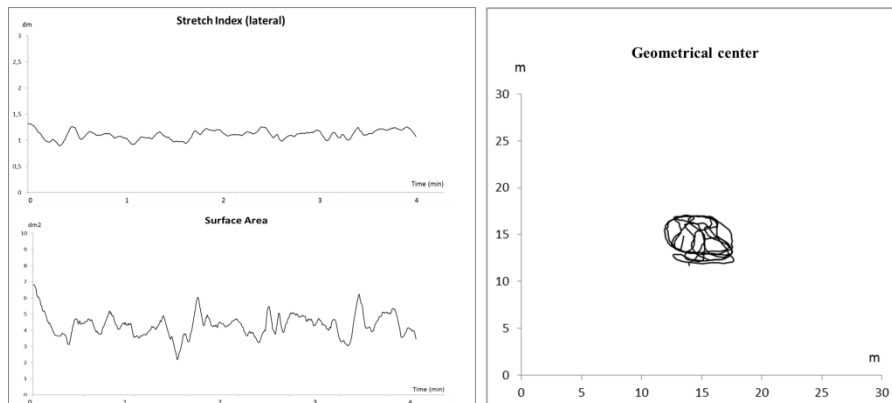


Figure 6. *Illustration of how collective behavior's properties captured at each instant are collapsed in time series based on each collective variable*

Subsequently, based on these individual metrics time series and the related simultaneous global properties captured by the collective variables, further analyses are conducted that aim to account for the global and multi-level system functioning properties. In this regard, an analysis of '**system degeneracy**' is targeted. Such analysis scrutinizes the number of structures that are identifiable for the same function of the collective system. It is conducted by detecting several spatiotemporal patterns of movements coordination (e.g., by clustering method) that are produced within a similar collective performance level (e.g., stability of a given collective variable).

Subsequently, to provide insight into how different levels of organization across multiple space and timescales are connected (Kelso et al., 2013), we will account for the specific bottom-up (i.e., emergence) and top-down (i.e., downward causation) phenomena that link individual coordinating activities and the related global collective behavior. As stated by Kelso and colleagues, identifying how collective properties emerge from microscopic dynamics has proven difficult in the extreme (Kelso et al., 2013), and a lesson has been that special computational methods are required that can quantify macro-to-micro causal effects and vice-versa (Dumas et al., 2014). In this light, we use the **Granger Causality** modelling (Granger, 1969). This calculation is defined in terms of linear regression coefficients in the time domain (Kaminski et al., 2001) and includes assumptions that macro-level properties are autonomous from and dependent upon its underlying causal forces (Seth, 2010). As such, it can help disentangle the causal influence between several dependent time series (e.g., occurrences of unidirectional vs bidirectional coupling). As Seth (2010) claimed, granger causality models thus provide models that are good candidates to measure not only emergence but also apparent 'downward causation'.

Phenomenological data

Phenomenological data collection by use of Self-confrontation interview techniques

Individual participants' phenomenological descriptions of how they experienced their coordinating activity will be obtained during "self-confrontation" interviews conducted within 12 hours of each experimental session; for full details of the interview process, see Von Cranach and Harre (1982) or other examples of its use in empirical research (e.g., Bourbousson et al., 2015). During the interview, the participants will view the recorded session film (from the camcorder) (see Figure 7). The film will be paused every second. At each of these points, the participant will be asked, "Please describe your activity as shown on the film". The researcher will use prompts to obtain information about actions (i.e., "What are you doing now?"), perceptions (i.e., "What are you perceiving here?"), feelings, and thoughts (i.e., "What are you thinking now?") that are meaningful to the participant during the experimental session. Interviews should last between 50 and 70 minutes. They are filmed and tape-recorded.

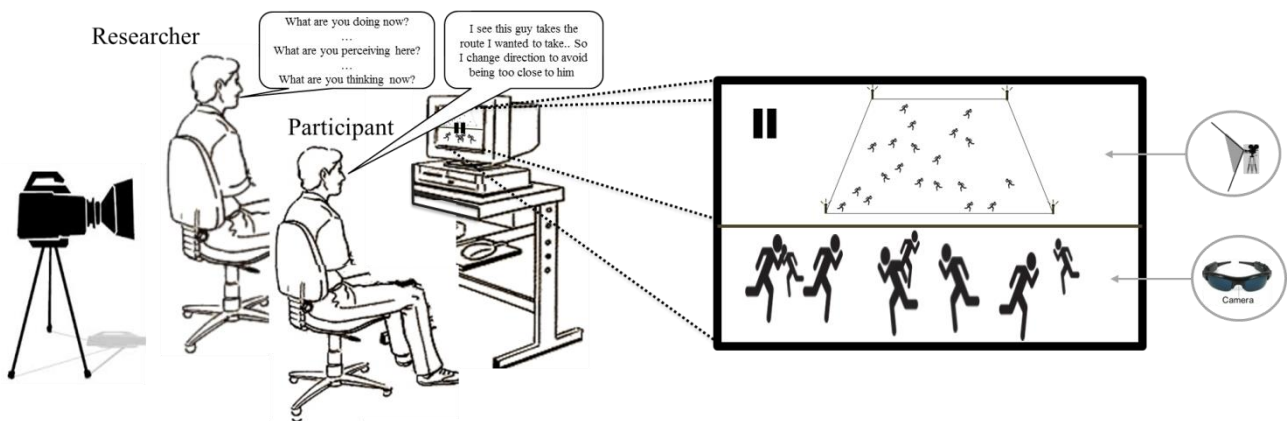


Figure 7. Illustration of how self-confrontation interviews are conducted to recover the phenomenological data related to each participant's subjective involvement in the experimental task

Phenomenological data analysis: Construction of « course-of-experience » of each participant and their synchronization

To conduct the qualitative analysis of the phenomenological data, three steps will be pursued. First, for each individual participant, a session log will be created by viewing the film of the participant's descriptions of his activity (i.e., as he watched the recording of his session activity during the self-confrontation interview). Based on this viewing, the researcher noted the participant's activity, as observed on the recording of the session; for example, "S1 is on the backfield; he is changing direction". Next, for each activity identified, the researcher noted the participant's verbal descriptions of this activity; for example, "Now, I am stuck. There are too many people around me and very little space available for moving. I will try to find another space where density is lower". Thus, the process resulted in a "mapping together" of the participants' behavioral and verbalization data. Second, the participants' course of experience was constructed. A course of experience is a chain of activity units that are meaningful for the actor. Theureau (2006) proposed that an activity unit results from the articulation of six components that respectively account for the following phenomena of human experience: i) the part of the actor's activity that is meaningful to him or her at instant t (action, communication, focus of attention, interpretation, or sentiment), ii) the actor's concerns at instant t ; iii) the actor's expectations at instant t ; iv) the knowledge mobilized by the actor at instant t ; v) the elements of the situation taken into account at this instant; and vi) the construction of new knowledge at this instant. The meaningful units will reflect a participant's situational awareness. Table 2 provides an example of a meaningful unit at a given instant (details about how these meaningful units account for the phenomenology of an actor may be found in Theureau, 2006). The earliest unit of activity within the session log timeline will be identified first followed by the next unit in the timeline and so on until all units of activity constituting the session period will be identified (i.e., around 200 meaningful units per participant across a 5-minutes session, depending on the participant).

Activity component	Phenomenological contents
Action	Tries to find another area
Involvement	Having enough space for moving
Expectations	Density should be lower in other areas of the field
Knowledge	When density increases around me, it will becomes difficult to operate
Perception	There are too many participants around me
Refashioned Knowledge	Not Identified (NI)

Table 2. Illustration of a meaningful unit of a fictitious given participant (i.e., S1) at a given moment of his coordinating activity

Course-of-experience analysis: Thematic analysis of participants' modes of regulation, and their synchronization and dynamics

The aggregation of the overall singular meaningful units built for accounting for the courses-of-experience of the participants will then be submitted to a thematic analysis (Braun & Clarke, 2006). Such a qualitative-based analysis aims to identify various 'modes of regulations' used by the participants. In the analysis, the modes of regulation are called "themes" and are assumed to rise up from the subjective data in an inductive procedure. As an illustration of the 'themes' than could be extracted and account for the modes of regulation employed by participants, Table 3 simulates the results from such a thematic analysis.

Examples of phenomenological data supporting the identification of the themes	First-order themes	Second-order themes
« I see this guy takes the route I wanted to take.. So I change direction to avoid being too close to him »	1.1. Adjusts his positioning by avoiding the proximal agents	1-Regulating activity by use of local information exclusively
« I tell myself that it is a good idea to follow him by just controlling our interpersonal distance »	1.2. Adjusts his positioning by following another agent	
« I am looking at the two guys here.. I look at how they behave. There, for now, I am well placed »	1.3. Checks that other agents around allow him to pursue his currents adjustments without reorganizing	
« I see that most of the participants are turning in a circle-like, so I will be in a better position by running into the diagonal, there is more space.. I could then make less adjustments to my	2.1. Picks up information on the collective behavior's state to decide to which extent his current local adjustments may be	2-Regulating activity by use of a combination

<p>neighbors trajectories »</p> <p>« I realize that there too much people around me, it’s difficult to avoid them. I thus take a step back to find a part of the field that is less dense »</p>	<p>maintained</p> <p>2.2. Picks up information on his proximal space to adjust his global positioning within the surface area</p>	<p>of local and global information</p>
<p>« I am moving by trying to always be in the part of the field were other are not. I try to maintain this bird-eye point of view to anticipate my future position »</p>	<p>3.1. Adjusts his positioning by identifying a free part of the global surface area</p>	<p>3-Regulating activity by use</p>
<p>« I see that the collective begins to tighten a little bit. If we finished by being regrouped, the task should be hardest for everyone. That’s why I decided to go there, to disrupt the ongoing tendency to tighten interpersonal space »</p>	<p>3.2. Adjusts his positioning by adopting behaviors that facilitate the global collective possibilities</p>	<p>of global information</p>

Table 3. Illustration of a thematic analysis of the fictitious modes of regulation that might appear in the phenomenological collected data

Such modes of regulation will then be used to code the individual participants’ courses-of-experience so that the dynamics and the synchronization of the modes of regulation used may be observed. The Figure 8 illustrates such an account.

Participant 1 (S1)	→
Time (s)	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 ...
Mode of regulation	1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.2 1.2 1.2 1.2 1.1 1.1 1.1 2.2 2.2 2.2 1.1 1.1 1.1 3.1 3.1 1.3 1.3
Participant 2 (S2)	→
Time (s)	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 ...
Mode of regulation	1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.3 1.3 1.1 1.3 1.3 1.3 1.3 1.3 1.3 1.1 1.1 1.1 2.2 2.2 2.2 2.1 2.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1
Participant 3 (S3)	→
Time (s)	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 ...
Mode of regulation	1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.2 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.2 3.1 3.1 1.3 1.1 1.2
Participant 4 (S4)	→
Time (s)	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 ...
Mode of regulation	1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 3.1 3.1 1.3 1.3 1.1 1.1 1.1 1.1 3.2 3.2 3.2 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1
Participant 5 (S5)	→
Time (s)	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 ...
Mode of regulation	1.1 1.1 1.1 3.1 3.1 1.3 1.3 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 2.2 2.2 2.2 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 1.1 3.2 3.2
Participant 6	
Participant 7	
Participant 8	
...	

Figure 8. Illustration of how phenomenological data may account for the dynamics of the modes of regulation and of their synchronization amongst the participants. Note: Codes (1.1; 1.2 etc.) correspond to the identified modes of regulation.

Crossing phenomenological and spatiotemporal data analyses

Once the spatiotemporal data have been collected and processed and the subjective data have been processed regarding the modes of regulation, the spatiotemporal times series will be sampled in terms of the phenomenological data. The Figure 9 illustrates the collection of such samples (i.e., cutting the time series and collapse data into samples that will be further analyzed/compared thanks to inferential statistics).

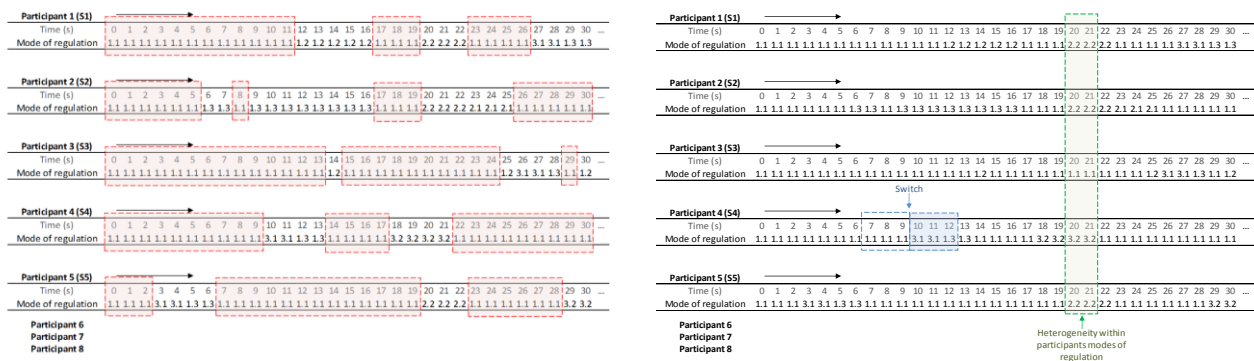


Figure 9. Left-panel-Illustration of how time codes may be selected to sample the spatiotemporal data related to a given mode of regulation (here the 1.1 mode of regulation). Right-panel-Illustration of how phenomenological data can help for delineating samples of spatiotemporal data (i.e., by identifying time codes of interest) and then working on mode-of-regulation switches and on similarity (homogeneity) of mode-of-regulation adoption by participants simultaneously

Cluster analyses

Then, based on the samples defined in the previous step (i.e., these samples will vary depending on the research question, either working on each mode-of-regulation sample separately or on data including mode-of-regulation switches, for example), cluster analyses will be performed to identify configurations of indicators that are quite stable and grouped. Clustering or cluster analysis groups objects together according to their similarity with few or without prior knowledge on the number of groups and group characteristics. In data mining, this can be achieved by grouping objects according to their distance in a feature space. Co-clustering goes behind this task by grouping not only the objects, but also the features at the same time. Moreover, a special kind of co-clustering in three dimensions (Subjects, Features, and Time) has been recently introduced. Based on spatiotemporal variables, hierarchical agglomerative cluster analysis using mainly the squared Euclidean distance dissimilarity measure will be applied to determine several configurations of indicators. According to Breiman (1996), two procedures, namely a bootstrapping procedure testing the stability of the clusters and an index testing the compactness of clusters can be used

to validate the number of clusters and their classification. The different configurations are assessed directly by comparing the BIC criterion (*Bayesian Information Criterion*) of each model. This BIC criterion validates both the sparsity (i.e., the weight of each value) as well as the number of clusters. Subsequently, the model that best fits the data is the one that provides the first local minimum in the BIC vector. To summarize, the approach consists of three steps: i) Defining the maximal number of meaningful clusters and an index of sparsity that determines relevant and discriminative variables with significant coordination; ii) Performing the cluster analysis to obtain a potential number of cluster from 2 to the fixed number and calculating the BIC index for each model; and iii) Using the BIC vector to find the first local minimum (sometimes global) indicating the model that best fits the data (both in terms of number of clusters and sparsity).

Analysis of variability

A specific focus on the nature of the variability of times series will then be considered. Such analysis helps account for collective behaviors' functional variability and for disruptions' identification (Davids et al., 2003; Silva et al., 2014). In human behavior, variability and nonlinear transitions in movements over time are essential for adaptive flexibility needed under ever-changing constraints of dynamic performance environments. A dynamical systems approach proposes that coordination variability provides a collective system with the required flexibility to adapt to perturbations. From this perspective, movement variability is not viewed as error or noise; instead, it reflects the adaptability of a performer-environment system usually associated with high levels of skill. For example, by estimating the variability of participants' action zones, one can understand whether collective behavior is more or less structured. To conduct this analysis, linear and non-linear analyses are used to examine the variability of the behaviors' spatial-temporal characteristics. Linear tools used involve the percentage of coefficient of variation (CV) to quantify the overall variability. CV is then complemented with non-linear methods that are needed to describe the structure of variability. It involves two specific measures of entropy – Shannon and sample entropies (e.g., Silva et al., 2014). Shannon entropy measures provide a value that quantifies the uncertainty of a given phenomenon. A low Shannon entropy (ShannEn) value (near 0) indicates that the distribution peaks sharply and the given phenomenon under the investigation can be easily predicted. A high ShannEn value (near 1) indicates that the distribution is uniform and thus, the phenomenon is highly variable and unpredictable. Sample entropy measures (SampEn) accounts for the conditional probability that two sequences similar for n points (length of the vector to be compared) remain similar at the next point $n + 1$. SampEn values range from 0 towards infinity, where 0 represents a perfectly repeatable time series and infinity is a totally unpredictable time series. From this measure it can be inferred whether participants displayed highly regular (i.e., periodical) (low SampEn) or highly irregular (high SampEn) behaviors.

Setting/parameterizing equations that capture the collective behavior's dynamics of perturbation/stabilization with respect for each mode of regulation

This modelling step of the project relies on the general principles of synergetics (Haken, 2007). Synergetics is concerned with the study of systems, e.g., interpersonal systems. It allows for modelling how interacting parts of the system “work together”. To explain the modelling stake, the first element to understand is that the system under the investigation is subject to ‘control parameters’. The values of such parameters vary across time, and some of these values are considered critical, so that the global system becomes unstable and change its collective properties. The second key-element is thus the variable that captures the given ‘collective properties’ and their dynamics. This variable is called the ‘order parameter’ and is assumed a low dimensional variable (Haken, 2007).

This mathematical step needs the previous analyses to be performed because i) the mathematical identification of the order parameter captures the circular interplays between the macroscopic states of the collective behaviors and the individual behaviors that give rise to it and ii) the mathematical formulation of the control parameter captures the laws of stabilization/destabilization of the order parameter.

As well synthetized by Haken (2007), “the dynamics is described by evolution equations for the variables under consideration, i.e., the temporal change of the relevant variables is determined by the present state of the system. In general, the equations are stochastic, nonlinear, partial differential or integro-differential equations that contain fluctuations”. While a general resolution of the equation of collective behavior is impossible, the technique is to start from a known attractor (i.e., a stable pattern of the collective behavior; that would have been identified in the previous stage of the project) and to set a value of the control parameter. Around this value, the variability of the order parameter is observed. The value is then changed towards critical values and disturbed modes of collective behaviors are now inspected. The amplitude of these modes is characterized and helps transform the initial equation by including new variables and the initial identified stable modes. By multiple iterations and stable mode removing, the modelling results in a low dimensional equation that describes the order parameter dynamics.

Several distinct equations may be needed to respect the distinct modes of regulation identified.

Simulating collective behavior

Constructing an algorithm

The MimeTIC team (Lamarche, Kulpa) has a long experience in human behavior modelling for the purpose of simulating virtual humans. Their work focuses on decisional models (cognitive and reactive models) as well as lower level processes such as navigation (in the field of crowd simulation) or motor control (in the field for character animation / simulation). Each virtual human is autonomous, it perceives its environment, decides of its actions, and acts. In such multi-agent systems, observable phenomena are not explicitly described but are automatically generated by the interaction of several autonomous entities. The present project aims to identify modes of regulation of collective behaviors and characterize their

behavioral and phenomenological conditions of occurrence that will perfectly fit with the needs of the team. As equations and relevant parameters that govern the dynamics of the collective system are identified in the previous step, we intend here to use those results to create new simulation algorithms that will be included in our simulation platform. Such algorithms will improve the current state of the art by providing a framework that relies on strong theoretical models and handles the regulation of emerging collective behaviors. **This work will lead to the realization of two demonstrators.** The first one will be a simulator in which the emergence of collective behaviors resulting from the modelled modes of regulation will be observable. The second one will use the virtual reality platform (i.e., possessed by the MimeTIC team; see Figure 10) in order to add a real human in the simulation loop. He will be part of the simulation, like any other agent, and be able to experience the emergence of collective behaviors.



Figure 10. Virtual reality platform possessed by the MimeTIC team (F. Lamarche, R. Kulpa)

Validating the simulation

We intend to validate our simulation algorithms with an objective and a subjective test. The objective test will rely on the data captured during experiments completed (when needed) with existing databases. Empirically captured data will be compared to our simulation results in order to assess their similarity. The subjective test will use the virtual reality platform to immerse a human into the simulation. Interviews relating to the experience of the user will be used to assess the realism of the simulation.

SYNERGY BETWEEN SCIENTIFIC METHODOLOGIES SKILLS OF THE PARTICIPANTS

The present project needs various interdisciplinary skills. First, the “phenomenological” processings will be realized thanks to specialists of such data collection (Bourbousson, Saury). Other participants, like Araujo, are very skilled in “spatiotemporal” processing. Seifert will assist particularly with clustering methods. Dumas is specialized in the enactive approach, but overall, his expertise is in applied mathematics; thus, he will assist with the general modelling (e.g., Task 9). Lamarche and Kulpa come from numerical sciences (IRISA) and they will participate mainly in the fourth stage of the project. These synergies are chained in time, as illustrated on the lower panel of the Gantt diagram (Diagram 1).

OVERALL IMPACT OF THE PROPOSAL

The strategy of valorization comprises five axes. The first axis consists of scientific communications. Four manuscripts are targeted (IF=4 on average), and 3 participations in international conferences are planned. The second axis consists of scientific culture diffusion (i.e., popularization). A specific contribution to “Fete de la science” is planned. It will be an opportunity to explain to pupils and general public how

fundamental human and social sciences may help numerical sciences further explore the developments of software and virtual reality simulations. The third axis contributes to build lecture contents at the university. For instance, the results obtained within the present research project could contribute to the lecture on “collective dimension of human performance” by the present project leader at the University of Nantes. The fourth axis consists of protecting intellectual property associated with some of the developments that will be made. To illustrate, the algorithms that will be developed during the fourth stage of the project should be protected with the French ‘AAP’ application (i.e., “Agence pour la protection des programmes”). Finally, our results should be utilized by the Golaem start-up during the final stage of the project.

JUSTIFICATION OF THE AMOUNT OF ASSISTANCE REQUIRED

The amount of assistance required, its justification, and the explanations of why it sometimes diverges from the initial requirement are explained in the Table 4.

Register	Spending	Details	Cost	Explanations	Variations with the initial budget (pre-proposal)
Equipment	Real-time tracking system	<i>Catapult OptimEye T5 Local Positioning system</i>	28000	We have chosen a system that is very new and can work in indoor areas.	The tracking system is more expensive than the one that was chosen at the pre-proposal stage of the project.
Equipement	Computers	<i>3 laptops and related materials</i>	5000	One laptop for the project-leader, the PhD-student, and the post-doctorate respectively.	Note that the computers now appear in this spending-case (it was initially in the functioning-case).
Missions	Train/Restaurant	<i>3 plenary meetings</i>	3450	Collaborators will come in Nantes to meet the leader and Saury (same lab). The collaborators are from Paris (150 euros for a round-trip by train), Rennes (50 euros for a round-trip by car), Rouen (150 euros for a round-trip by train), and Lisbon (500 euros by plane). The local researchers will provide accommodations. Only the transport fees and restauration (300 euros) are thus budgeted.	
Missions	Train/Restaurant	<i>2 workshops only a part of the participants)</i>	1350	Invited collaborators will only be those involved in the given stage of the project. Estimation is thus less expensive than for plenary meetings.	As planned initially
Missions	3 conferences	<i>All inclusive</i>	2400	Conference participations are budgeted at 800 euros per Conference (including hostel, accomodation, and inscription)	
External delivery	English improvement	<i>4 manuscripts</i>	1000	Around 250 euros for checking/improving the English writing of each manuscript	
Other external spending	Publication fees	<i>2 Open access Journals</i>	2000	Publishing in the most referenced Open access journal is around 1000 euro per publication.	
Staff	Confirmed Post-doc position	<i>18 months</i>	72 000	Standard cost calculated by the University of Nantes	This spending is now 12000 euros higher than what was planned in the pre-proposal. The reason is that we decided to recruit a "confirmed" post-doctorate to be sure that the work at the late stage of the project will be efficient
Staff	PhD-Student	<i>36 months</i>	90000	Standard cost calculated by the University of Nantes	Budgeting management fees were not included in the pre-proposal. It is a new procedure within the University of Nantes (Jan 2015) that has to be planned.
Administrattion	Management fees	<i>4%</i>	8208	ANR grants allow for 4% management fees budgeting	
TOTAL	213408	The initial funding request was 194000 euros. ANR allows for increasing this request within a window of 15%. The present funding request increased by 10%.			

Table 4. Amount of assistance required,, its justification and explanation.

PRESENTATION OF THE COLLABORATORS AND THEIR QUALIFICATIONS

The project has 7 collaborators (attached to 5 different laboratories), including the project leader, **Jérôme Bourbousson** (profile described above (1.)) [Implication: 85% of full-time]. He has significant scientific background in sports science, analyzing behavioral (Bourbousson et al., 2010) and subjective mechanisms of collective activity (Bourbousson et al., 2012; Bourbousson et al., 2015; Poizat et al., 2012). Over more than fifteen years, **Jacques Saury** [Implication: 30% of full-time] (Professor, University of Nantes; director of MIP, EA 4334) has developed studies in the cognitive ergonomics of sporting situations, centered around collective and cooperative activities, as part of the enactivist scientific program of the Course-of-action (Saury et al., 2013). **Duarte Araújo** [Implication: 20% of full-time] (Professor, University of Lisbon; director of the SPERT LAB) published more than 100 papers in important scientific journals, mainly about expert performance and decision-making, both in individuals and teams (Duarte et al., 2012). He co-founded the ecological dynamics of sport behavior (Araujo et al., 2006), where conceptual and methodological tools from complex dynamical systems are coherently used for the study of behavior. **Ludovic Seifert** [Implication: 15% of full-time] (Agrégation-valedictorian, 1999; Ph.D., 2003; HDR, 2010), member of CETAPS (Rouen, EA 3832), belongs to the community studying complex systems (e.g., ISC-Normandie, e-lab Ecological Dynamics & Sport Performance) and is involved in a number of international collaborations (with D. Araújo, K. Davids, JY. Chow, C. Button). He analyzes temporal series with regard to their variability, adaptability, metastability and flexibility (Seifert et al., 2014). Further, he successfully explores the articulation of first- and third-person approaches. **Guillaume Dumas** [Implication: 10% of full-time] (École Centrale Paris, 2007; Ph.D., 2012) is developing an enactive approach to spontaneous social coordination. He collaborated for two years with J.A. Scott Kelso at the Human Brain and Behavior Laboratory on work related to the dynamics of multi-level coordination (Dumas et al., 2014). Currently at the Pasteur Institute (Paris, GHFC unit), he refers to complex and dynamic systems, and is an innovator in signal processing and multi-level modeling. **Fabrice Lamarche** [Implication: 15% of full-time] (Ph.D., 2004), currently with the MimeTIC team (IRISA, UMR 6074, Rennes), conducts experiments in animation/behavioral simulation applied to virtual humans (i.e., behavior modeling for synthetic humans; automated analysis of 3D environments; Lopez, Lamarche, & Li, 2012). Co-founder of the start-up Golaem, the majority of his work has been transferred there. **Richard Kulpa**, [Implication: 10% of full-time] (INSA Rennes, 1996; Ph.D., 2006; HDR, 2014) studies interactions between humans by using immersive environments (e.g., collaboration with Cathy Craig, University of Belfast; Brau, Bideau, Kulpa, & Graig, 2012). His work will involve the validation/development of behavioral models through virtual reality.

Short curriculum vitae of the project leader

Jérôme Bourbousson, 33 years old

Laboratory “Movement, Interactions, Performance” (EA 4334)

2003. ENS Cachan / **2006.** Agrégation (valedict.) / **2010.** Thesis “Interpersonal coordination in basketball”

Articles : 22 publications in peer-reviewed journals (of which 15 referenced in ISI; 16 as first author), 2 book chapters, 22 papers in conference (including 11 international conferences, 3 invited conferences, and 4 Young Investigator awards)

Selected references

Bourbousson, J., Poizat, G., Saury, J., Sève, C. (2008). Caractérisation des modes de coordination interpersonnelle au sein d’une équipe de basket-ball. *@ctivités*, 5(1), 21-39.

Poizat, G., Bourbousson, J., Saury, J., Sève, C. (2009). Analysis of contextual information sharing during table tennis matches: An empirical study on coordination in sports. *Int.l Journal of Sport and Exercise Psychology*, 7, 465-487.

Bourbousson, J., Sève, C., McGarry, T. (2010). Space-time coordination patterns in basketball: Part 1. Intra- and inter-couplings among player dyads. *Journal of Sports Sciences*, 28(3), 339-347.

Bourbousson, J., Sève, C., McGarry, T. (2010). Space-time coordination patterns in basketball: Part 2. The interaction between the two teams. *Journal of Sports Sciences*, 28(3), 349-358.

Bourbousson, J., Poizat, G., Saury, J., Sève, C. (2010). Team coordination in basketball: description of the cognitive connections between teammates. *Journal of Applied Sport Psychology*, 22, 150-166.

Bourbousson, J., Poizat, G., Saury, J., Sève, C. (2011). Description of dynamic shared knowledge: an exploratory study during a competitive team sports interaction. *Ergonomics*, 54, 120-138.

Poizat, G., Bourbousson, J., Saury, J., & Sève, C. (2012). Understanding Team Coordination in Doubles Table Tennis: Joint Analysis of First- and Third-Person Data. *Psychology of Sport & Exercise*, 13, 630-639.

Bourbousson, J., Poizat, G., Saury, J., Sève, C. (2012). Temporal aspects of team cognition: a case study on concerns sharing within basketball. *Journal of Applied Sport Psychology*, 24, 224-241.

Bourbousson, J., Deschamps, T., Travassos, B. (2014). From players to teams: Towards a multi-level approach of game constraints in team sports. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 9(6), 1393-1406.

Bourbousson, J., R’Kiouak, M., Eccles, D.W. (2015). The Dynamics of Team Coordination: A Social Network Analysis as a Window to Shared Awareness. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 24 (5).

SYNTHESIS OF PARTICIPANTS’ CONTRIBUTIONS AROUND THE LEADER

Participants	Name	First Name	Actual position	Implication (Person.month)	Role & Responsibilities in the project
University of Nantes, Laboratory « Movement, Interactions, Performance »	BOURBOUSSON	<i>Jérôme</i>	Associate professor	30,6	Scientific main investigator. Experimental design ; Phenomenological and spatiotemporal data processing and combination
University of Nantes, Laboratory « Movement, Interactions, Performance »	SAURY	<i>Jacques</i>	Full Professor	10,8	Participant. Phenomenological data processing
University of Rouen, Laboratory CETAPS (EA 3832)	SEIFERT	<i>Ludovic</i>	Associate professor	5,4	Participant. Spatiotemporal data processing. Cluster Analysis.

PARTIE 5 PROJETS DE RECHERCHE AMORCES

CHAPITRE 1 - BOURBOUSSON 2016-2020 – PROJET ANR-JCJC - EMERCOLL

University of Lisbon, Spertlab	ARAUJO	Duarte	Full Professor	7,2	Participant. Spatiotemporal data processing. Metastability and healthy variability analysis
University of Rennes, IRISA, UMR 6074	LAMARCHE	Fabrice	Associate professor	5,4	Participant. Agent-based numerical simulation
University of Rennes, IRISA, UMR 6074	KULPA	Richard	Associate professor	3,6	Participant. Agent-based numerical simulation
Pasteur Institute, GHFC Unit, Paris	DUMAS	Guillaume	Post-Doctorate	3,6	Participant. Spatiotemporal data processing. Multi-level modelling. Metastability analysis. Granger causality.
University of Nantes, Laboratory « Movement, Interactions, Performance »	To be recruited		PhD student	36	Participant. Experimental design ; Phenomenological and spatiotemporal data processing and combination
University of Nantes, Laboratory « Movement, Interactions, Performance »	To be recruited		Post-Doctorate	18	Participant. Transferring data from human and social science to agent-based numerical simulation

Participants and their respective contribution to the project

REFERENCES

- Araujo, D., Davids, K., & Hristovski, R. (2006). The ecological dynamics of decision making in sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 7, 653-676.
- Bahrami, B., Olsen, K., Latham, P. E., Roepstorff, A., Rees, G., & Frith, C. D. (2010). Optimally interacting minds. *Science*, 329, 1081-1085.
- Ballerini, M., Cabibbo, N., Candelier, R., Cavagna, A., Cisbani, E., Giardina, I., ... & Zdravkovic, V. (2008). Interaction ruling animal collective behavior depends on topological rather than metric distance: Evidence from a field study. *Proceedings of the national academy of sciences*, 105(4), 1232-1237.
- Bardy, B. G., Salesse, R. N., Gueugnon, M., Zhong, Z., Lagarde, J., & Marin, L. (2014). Movement similarities and differences during social interaction: The scientific foundation of the ALTEREGO European project. In *Systems, Man and Cybernetics (SMC), 2014 IEEE International Conference on* (pp. 772-777). IEEE.
- Bourbousson, J., Deschamps, T., Travassos, B. (2014). From players to teams: Towards a multi-level approach of game constraints in team sports. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 9(6), 1393-1406.
- Bourbousson, J., R'Kiouak, M., Eccles, D.W. (2015). The Dynamics of Team Coordination: A Social Network Analysis as a Window to Shared Awareness. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 24 (5).
- Bourbousson, J., Sève, C., McGarry, T. (2010). Space-time coordination patterns in basketball: Part 1. Intra- and inter-couplings among player dyads. *Journal of Sports Sciences*, 28(3), 339-347.
- Bourbousson, J., Sève, C., McGarry, T. (2010). Space-time coordination patterns in basketball: Part 2. The interaction between the two teams. *Journal of Sports Sciences*, 28(3), 349-358.
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine learning*, 24(2), 123-140.
- Bruineberg, J., & Rietveld, E. (2014). Self-organization, free energy minimization, and optimal grip on a field of affordances. *Frontiers in human neuroscience*, 8.
- Buchin M. , Giuggioli L., van Kreveld M. , Théraulaz G. (2014). Workshop “Interaction and Collective Movement Processing”. Schloss Dagstuhl, Wadern,

- von Cranach, M., & Harré, R. (Eds.). (1982). *The analysis of action: Recent theoretical and empirical advances* (Vol. 1). CUP Archive.
- De Jaegher, H., & Di Paolo, E. (2007). Participatory sense-making. *Phenomenology and the cognitive sciences*, 6, 485-507.
- Davids, K., Glazier, P., Araújo, D., & Bartlett, R. (2003). Movement systems as dynamical systems. *Sports medicine*, 33(4), 245-260.
- Dorigo, M., Bonabeau, E., & Théraulaz, G. (2000). Ant algorithms and stigmergy. *Future Generation Computer systems*, 16, 851-871.
- Duarte, R., Araújo, D., Correia, V., & Davids, K. (2012). Sports Teams as Superorganisms. *Sports medicine*, 42(8), 633-642.
- Dubois, D. (2003). Mathematical foundations of discrete and functional systems with strong and weak anticipations. *Lecture Notes in Computer Science 2684*, 110–132.
- Dumas, G., Kelso, J. S., & Nadel, J. (2014). Tackling the social cognition paradox through multi-scale approaches. *Frontiers in psychology*, 5.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological review*, 87, 215.
- Froese, T. (2015). *Beyond neurophenomenology: A review of Colombetti's The Feeling Body*. *New Ideas in Psychology*. doi:10.1016/j.newideapsych.2015.01.007.
- Froese, T., & Di Paolo, E. (2011). The enactive approach: theoretical sketches from cell to society. *Pragmatics & Cognition*, 19, 1-36.
- Froese, T., & Fuchs, T. (2012). The extended body: a case study in the neurophenomenology of social interaction. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 11, 205-235.
- Froese, T., & Gallagher, S. (2010). Phenomenology and artificial life: toward a technological supplementation of phenomenological methodology. *Husserl Studies*, 26, 83-106.
- Froese, T., & Ziemke, T. (2009). Enactive artificial intelligence: Investigating the systemic organization of life and mind. *Artificial Intelligence*, 173, 466-500.
- Froese, T., Iizuka, H., & Ikegami, T. (2014). Embodied social interaction constitutes social cognition in pairs of humans. *Science*, 4.
- Gautrais, J., Buhl, J., Valverde, S., Kuntz, P., Theraulaz, G. (2014). The Role of Colony Size on Tunnel Branching Morphogenesis in Ant Nests. *PLoS ONE 9(10)*: e109436. doi:10.1371/journal.pone.0109436
- Goldstone, R. L., & Janssen, M. A. (2005). Computational models of collective behavior. *Trends in cognitive sciences*, 9(9), 424-430.
- Haken, H. (2007). Synergetics. *Scholarpedia*, 2(1), 1400.
- Haque, M. A. and Egerstedt, M. (2009). Coalition formation in multi-agent systems based on bottlenose dolphin alliances. In *Proceedings of the American Control Conference*, pages 3280–3285.
- Kamiński, M., Ding, M., Truccolo, W. A., & Bressler, S. L. (2001). Evaluating causal relations in neural systems: Granger causality, directed transfer function and statistical assessment of significance. *Biological cybernetics*, 85(2), 145-157.
- Kelso, J. S., Dumas, G., & Tognoli, E. (2013). Outline of a general theory of behavior and brain coordination. *Neural Networks*, 37, 120-131.
- Laroche, J., Berardi, A., & Brangier, E. (2014). Embodiment of intersubjective time: relational dynamics as attractors in the temporal coordination of interpersonal behaviors and experiences. *Frontiers in Psychology*, 5, 1180.
- Marmelat, V., & Delignières, D. (2012). Strong anticipation: complexity matching in interpersonal coordination. *Experimental brain research*, 222, 137-148.
- Martinoli, A., Theuraulaz, G., & Deneubourg, J.L. (2002). Quand les robots imitent la nature. *La Recherche*, 358.
- Néda, Z., Ravasz, E., Brechet, Y., Vicsek, T., & Barabási, A. L. (2000). Self-organizing processes: The sound of many hands clapping. *Nature*, 403(6772), 849-850.
- Nembrini, J., & Martinoli, A. (2007). Robotique en essaim: récents résultats et directions futures. In *Proc. of the Journal National de la Recherche en Robotique 2007*.
- Parker, L. E. (1998). ALLIANCE: An architecture for fault tolerant multirobot cooperation. *Robotics and Automation, IEEE Transactions on*, 14(2), 220-240.

- Passos, P., Araújo, D., Davids, K., Gouveia, L., Milho, J., & Serpa, S. (2008). Information-governing dynamics of attacker–defender interactions in youth rugby union. *Journal of Sports Sciences*, 26(13), 1421-1429.
- Perna, A., Kuntz, P., Theraulaz, G., & Jost, C. (2012). From local growth to global optimization in insect built networks. In P. Lio and D. Verma (Eds.). *Biologically inspired networking and sensing: algorithms and architectures*, 132-144. Medical Information Science.
- Petitmengin, C. (2006). Describing one's subjective experience in the second person: An interview method for the science of consciousness. *Phenomenology and the Cognitive sciences*, 5(3-4), 229-269.
- Poizat, G., Bourbousson, J., Saury, J., & Sève, C. (2012). Understanding Team Coordination in Doubles Table Tennis: Joint Analysis of First- and Third-Person Data. *Psychology of Sport & Exercise*, 13, 630-639.
- Rauch, E. M., Millonas, M. M., & Chialvo, D. R. (1995). Pattern formation and functionality in swarm models. *Physics Letters A*, 207, 185-193.
- Reynolds, C.W. (1987). Flocks, herds and schools: A distributive behavioral model. *Computer Graphics*, 21, pp. 25–34.
- Rubenstein, M., Cornejo, A., & Nagpal, R. (2014). Programmable self-assembly in a thousand-robot swarm. *Science*, 345, 795-799.
- Schmidt, R., Carello, C. and Turvey, T. (1990). Phase transitions and critical fluctuations in the visual coordination of rhythmic movements between people. *JEP*, 16, 227.
- Seifert, L., Adé, D., Saury, J., Bourbousson, J., Thouvenecq, R. (in press). Combination of phenomenological and behavioural data to explore interpersonal coordination: a heuristic approach illustrated through outdoor activities. In P. Passos (Ed.). *Interpersonal coordination in sport*. NY: Routledge.
- Seifert, L., Komar, J., Barbosa, T., Toussaint, H., Millet, G., & Davids, K. (2014). Coordination pattern variability provides functional adaptations to constraints in swimming performance. *Sports Med*, 1-13.
- Sen, S. D. (2015). *An intelligent and unified framework for multiple robot and human coalition formation*. Unpublished Doctoral dissertation, Vanderbilt University, US.
- Seth, A. (2007). Granger causality. *Scholarpedia*, 2(7), 1667.
- Shi, H., Wang, L., & Chu, T. (2006). Virtual leader approach to coordinated control of multiple mobile agents with asymmetric interactions. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 213(1), 51-65.
- Silva, P., Travassos, B., Vilar, L., Aguiar, P., Davids, K., Araujo, D., & Garganta, J. (2014). Numerical Relations and Skill Level Constrain Co-Adaptive Behaviors of Agents in Sports. *PlosOne*, 9. e107112
- Theureau, J. (2006). *Cours d'action: Méthode développée*. Toulouse: Octares.
- Thompson, E., & Varela, F. J. (2001). Radical embodiment: neural dynamics and consciousness. *Trends in cognitive sciences*, 5(10), 418-425.
- Tognoli, E., & Kelso, J. S. (2014). The metastable brain. *Neuron*, 81(1), 35-48.
- Turner A., & Penn A. (2002): Encoding natural movement as an agent-based system: an investigation into human pedestrian behaviour in the built environment. *Environment and planning B: Planning and Design*, 29.
- Varela, F. J., & Shear, J. (1999). The view from within. *Journal of Consciousness studies*, 6, 293-96.
- Yang, Y., Diez Roux, A.V., Auchincloss, A.H., Rodriguez, D.A., & Brown, D.G. (2011). A Spatial Agent-Based Model for the Simulation of Adults' Daily Walking Within a City. *American Journal of Preventive Medicine*, 40, 353–361
- Zhang, H. T., Chen, M. Z., Stan, G. B., Zhou, T., & Maciejowski, J. M. (2008). Collective behavior coordination with predictive mechanisms. *Circuits and Systems Magazine, IEEE*, 8(3), 67-85.
- Zimmer, C. (2007). From ants to people, an instinct to swarm. *The New York Times*, Nov. 13.

PARTIE 5 - CHAPITRE 2

BOURBOUSSON ET AL., SOUMIS

PSYCHOLOGY OF SPORT AND EXERCISE



THE ROLE OF VERBAL COMMUNICATION IN REAL-TIME INTERPERSONAL COORDINATION: THE CASE OF AN EXPERT ROWING CREW

Jérôme Bourbousson¹, Mehdi R'Kiouak¹, David Adé², Julien Lardy¹, Ludovic Seifert², Antoine Nordez¹, and Jacques Saury¹

¹Sport Sciences Faculty, University of Nantes, 25 bis Bd Guy Mollet 44322 Nantes, France

²Sport Sciences Faculty, University of Rouen, Bd André Siegfried 76821 Mont Saint Aignan, France

Date of submission, July 8, 2015

Abstract

Objectives. The ambition of the present study is to introduce a methodological attempt to combine phenomenological and behavioral approaches to gain insights into team functioning. *Design.* Focusing on how verbal communications occur and change the microdynamics of team coordination, we conducted an exploratory case study on an expert senior coxless pair rowing crew. *Method.* Phenomenological and mechanical data were collected and combined to describe the subjective concerns that led to verbal communication, the subjective consequences observed in the intended recipient, and how this verbal communication changed the mechanical signatures of interpersonal coordination during a race. *Results.* The results suggest that verbal communication might have various consequences that do not necessarily achieve the purpose for which it is intended; that a successful consequence of communication with a teammate does not guarantee the expected effect on a setting; and that most verbal communications in such a context have positive consequences, disregarding the extent to which they were successfully received. *Conclusions.* Further research is needed to describe how verbal communications may serve to contribute to team effectiveness in real-time.

Keywords: mixed approach; team coordination; participatory sense-making; course of action; complex adaptive systems.

INTRODUCTION

During the past decade, researchers interested in interpersonal coordination in sport have analyzed how individual athletes work together and produce team behavior. Early research conducted in sport psychology has attempted to enhance our knowledge on interpersonal coordination by focusing on information-sharing mechanisms that facilitate coordinated behaviors (e.g., Eccles & Tenenbaum, 2004). Most of these studies have extensively used phenomenological

interview techniques that allow researchers to endorse a first-person approach to identify which information is built by the participant, how this information is shared within the team, and what the specific temporal and contextual conditions of this sharing are (e.g., Bourbousson, R'Kiouak, & Eccles, 20015; Poizat, Bourbousson, Saury, & Sève, 2012). By referring to data that express the participants' personal viewpoints (Poizat et al., 2012), first-person approaches differ from third-person approaches referring to data that can be observed and recorded from the outside (Varela & Shear, 1999). In this light, a second alternative panel of the research has used third-person approaches by describing the activity from the outside. This research addressed the understanding of ongoing interpersonal coordination between participants when performing a common task. To this end, many studies have investigated interpersonal coordination by searching for the mathematical laws that govern its dynamics (e.g., Araujo, Davids, & Hristovski, 2006). These works have been conducted on the field as in experimental designs (e.g., Davids, 2015 for a review). Such third-person approaches have been pervasive, and contributed mainly to extend performance analysis methods to multi-people settings.

Inspired by mixed approaches designs, a contribution of the present study is methodological, as it combines the use of first- and third-person approaches to understand interpersonal coordination phenomena (Varela & Shear, 1999). More specifically, the verbal communications that emerged during an ongoing interpersonal coordination effort were the starting point of our methodological development. As such, the present study will also contribute more generally to the research on verbal communication in sport by describing how they are used online to change the real-time team activity.

Interpersonal coordination and verbal communication

While verbal communication in interpersonal coordination is assumed to play a key role in helping a team become expert (Eccles & Tenenbaum, 2004), few works have described how this communication is used in real time to help participants achieve, maintain, or recover their interpersonal coordination states. Lausic and colleagues (2009) conducted a study that analyzed verbal communications in semi-experimental double tennis games. Based on recordings of what the participants said between points, the authors categorized the "contents" of the communications, and compared the patterns observed in winning vs. losing teams, and the patterns observed for winning vs. losing points. This study showed that winning teams communicated nearly twice as much information as losing teams. In a further study (Lausic, Razon, & Tenenbaum, 2014), the authors showed that the amount of verbal communication used by participants between points was correlated to their non-verbal sensitivity, which indicates that the use of verbal channels of communication may be explained by various other implicit channels. Together, both studies initiated research on verbal communication in teams on the field. Nevertheless, as doubles tennis does not

offer enough opportunities to verbally communicate during the ongoing team coordination, the authors were unable to directly address the topic of how communication might help ongoing interpersonal coordination states to be changed in real time. The research designs adopted by Lausic and colleagues refers to an Input-Process-Output (i.e., I-P-O) model: Verbal communications were considered and investigated prior to the interpersonal coordination (i.e., as an input), supposed to facilitate real-time interpersonal coordination (i.e., the processes) and to subsequently increase winning points (i.e., outputs). Thus, nothing was said about how interpersonal coordination is achieved in real time through ongoing verbal communication.

The only work that has analyzed how verbal communications are used through real-time team activity is that by Lecouteur and Feo (2010) within a netball team. They recorded the talks that occurred within the team, and then applied a method dedicated to conversations' analysis to examine how the verbal communications produced by defensive players contributed to successful joint defense. When a verbal communication occurred, the researchers scrutinized the behaviors of the intended recipient, to see how this team member understood the given message. This study showed mainly that the intended recipients did not systematically understand on-court messages and that high frequencies of communication occurred when teamwork was breaking down. However, the authors concluded that the nature and quality of the real-time communication might be more crucial than the amount of information exchanged. As such, the methodological procedure this study adopted clearly investigates how verbal communication operates as team activity develops over time; however, it describes the effectiveness of the exchanged information by making exclusive use of methods within a third-person approach, and it correlates the process of communication with its outputs (i.e., shots at goal) rather than deepens our understanding of how and why team members use verbal communication to change the course of interpersonal coordination in real-time.

Therefore, the few studies that exist on verbal communication do not directly address the role of verbal communication on interpersonal coordination, but rather on team outcomes, and have mostly made use of third-person approaches. The aim of the present study is to combine first- and third-person methodologies to describe the way in which verbal communication operate to change the interpersonal coordination states achieved in real time within a sport team. As no theory is actually available to address this issue by considering simultaneously the subjectivity of interactors and their respective behaviors, the present study was designed as exploratory.

Combining first- and third-person approaches

Combining science “from the outside” and phenomenology “from the inside” is a hot topic in general psychology (Varela & Shear, 1999). Recent studies in sports science have also proposed that mixed methods combining first- and third-person approaches could be fruitful in team functioning research in general. Within interpersonal coordination research (i.e., but not concerned with verbal

communication), a representative work is the exploratory case study of Sève and co-workers (Sève, Nordez, Poizat, & Saury, 2013). The authors analyzed the activity of two expert rowers involved in a real race by making use of self-confrontation interview techniques to recover phenomenological data and to describe how rowers experienced their race, respectively. They also used biomechanical data to disentangle how and why these experiences might occur. The results highlight that a rower experienced a recurrent feeling of 'being pushed' by the partner, and this feeling was explained by differences in stroke amplitude and speed in the first and second parts of the recoveries. Interestingly, this study shows how objective performance analysis (i.e., biomechanical measures) might be fruitfully indexed to a prior analysis of athletes' courses of experience (i.e., phenomenological data), which illustrates that mixed method that gives primacy to first-person data might be powerful.

Within the research conducted on communication on the court, an illustrative recent work is the exploratory case study from Poizat and co-workers (Poizat et al., 2012). The authors analyzed the collective activity of doubles table-tennis players in light of non-verbal communication that takes place between the points. To this end, thanks to self-confrontation interview techniques, the authors reconstructed the courses of experience of each individual player from a first-person approach, and combined this analysis with a multimodal analysis of their behaviors from a third-person approach. The empirical contribution of Poizat et al. (2012) highlighted how behaviors such as glances and looks, facial expressions, gestures, postures, positioning in the playing space, movements in the playing space, and routinized actions contributed to shape the understanding shared by the two partners. Interestingly, this mixed approach helped to point out how and why some misunderstandings might occur between participants (as emphasized by first-person data analysis) on court, despite their well-developed shared culture. These might be related to the dynamics of situational variables that were captured by third-person data analysis.

In light of the available literature, we thus believe there is a need for initiating research focused on how verbal communication operates in real-time to change the interpersonal microdynamics of coordination. Meeting the objective of fulfill this gap within the team research, we expected being able to develop a method that describes in great details how/why an individual performer initiate a verbal communication within the team, how this verbal communication is received, and how individual performers together act to subsequently change their team coordination states.

The course-of-action theory: Understanding the experience of actors

The present study was conducted according to the course-of-action framework. This framework is constructivist and is wed to a phenomenological epistemology (see Theureau, 2003, for a detailed description). It aims to describe various properties of an activity, and is concerned with

understanding actors' experiences in great detail. It has been adopted within numerous empirical studies of work (e.g., Theureau, 2003). In the field of sport, the framework has been adopted within studies of the situated cognition of expert individual athletes (e.g., Hauw & Durand, 2005) and studies of coordination in teams of athletes (e.g., Poizat et al., 2012; Bourbousson et al., 2015). This framework is suitable for taking into account the subjective and dynamic character of activity and is able to determine the temporality and chaining of action. In that it emphasizes the meanings experienced by actors in his real-world setting, the research design permits activity to be studied on the basis of the reconstruction of the natural and specific conditions of the activity, which then permits the analysis of the situated "course of experience" of actors under study (Theureau, 2003).

A course of experience is a chain of activity units that are meaningful for the actor. These discrete units may be physical actions, interpretations, or feelings, and include underlying components like expectations or knowledge elements. By using analyses of individual perception, interpretation, expectations, and knowledge mobilized by each team member at each moment (see Theureau, 2003. for details of the analysis of cognitive contents), this framework allows the researcher to identify the individual's perceptions and concerns at each instant.

To respect the course-of-action epistemology, any data processing that is not phenomenological has to be considered as a second-stage analysis underpinning the study. Such a complementary analysis was one of the strength of the present work in light of the previous works conducted in the course-of-action framework, that often considered phenomenological data only. In sum, the present study assumed that mechanical data should be fruitful to complement subjective data to understand verbal communication effectiveness. Thus, the qualitative and quantitative data combination performed in the present study should highly contribute to advance the research within the course-of-action framework.

Setting under study and study objectives

To conduct our investigation, we chose to focus on a rowing crew (i.e., an elite coxless male pair crew). In such a setting, each athlete has to row at his best, but an important variable in the boat's performance is the degree of synchronization between members at any time of the race (e.g., Baudouin & Hawkins, 2004). Such synchronization requires great adaptive activity of team members during their ongoing interpersonal coordination effort. A particularity of this interactional setting is that both rowers are connected by their common technical setting (i.e., they both sit within the same boat). One rower (i.e., the bow rower) can see the movements of his teammate (i.e., the stroke rower) as they are placed one behind the other in a coxless pair crew. Both team members can communicate during the race to face a sudden unexpected environment, or to recover a stable interpersonal coordination state.

Thanks to the possibility of collecting mechanical measures during the race (e.g., Hill, 2002), rowing offers an ideal study framework. Rowing is also an activity that has been propitious for phenomenological interview techniques (Sève et al., 2013). Thus, a joint analysis that combines subjective and mechanical data will allow for the observation of how interpersonal coordination might be changed online by the use of verbal communication.

By combining first- and third-person approaches, the present study aims to contribute to research on interpersonal coordination, especially by focusing on how verbal communication operates to change the state of interpersonal coordination as measured at different levels of description. To this end, the study was designed to identify the purpose for which a team member made use of verbal communication, and to analyze the subsequent effects this communication had on the intended recipient's activity as on the collective performance conditions. The present study pursued three objectives and related research questions. Our first objective was to identify the subjective concerns that led a given team member to communicate verbally in the flow of real-time team coordination. This objective raised the following question: What are the participant's concerns when a verbal communication is issued? Our second objective was to identify the consequences of verbal communications on the intended recipient. In pursuing this objective, we addressed the following questions: How was the meaningful activity of the recipient changed by a verbal communication? How do the mechanical correlates of the recipient's individual activity change by using verbal communication? The third objective was to identify the changes that surrounded the verbal communications within the collective setting (i.e., physical and material). We considered the following research question: How the mechanical parameters measured at the boat, interpersonal, and individual levels were changed by the considered verbal communication?

METHODS

Participants and procedure

A senior lightweight men's coxless pair crew from Pole France of Nantes participated in this study, conducted in collaboration with their coach. The protocol was explained to them, and they provided written consent to participate in the study. All the protocol respected the APA ethics guidelines. The coxless pair is a boat for two rowers, each having a single oar. Guy (22) was the "stroke rower" and Vince (27) was the "bow rower." They had been rowing together for three seasons. The rowing activity was studied during a 3,000-meter race against the clock, which lasted 10 minutes 49 seconds. This race took place in the middle of the competitive season, four days before the first qualification event for the French National Championship. One month later, the crew came third in the lightweight coxless pairs in the French National Championship. The pair was subsequently selected to compete in the French team's Mondial coxless, which took fourth place.

Data collection

Phenomenological, or first-person data, were collected to describe how the rowers experienced each instant of the race. Systematic analysis of this data allowed us to build each team member's course of experience. Then, to describe the mechanical correlates of each verbal communication, we equipped the boat and oars with an acquisition system that offered third-person data at each instant of the race.

Data collection for analysis of the courses of experience. The rowers were equipped with high-fidelity microphones, and two video cameras recorded their behavior and verbal communications throughout the race. The race was filmed from a second boat that kept pace with the coxless pair. Self-confrontation interviews were conducted immediately after the race. The interview techniques were based on video recordings of the participants during the competition; as the participants subsequently viewed these videotapes, they were invited to comment on their moment-to-moment experiences. In this study, each rower was separately shown the audiovisual recording of the race and encouraged to "re-experience his race" by commenting on his experience (what he was doing, feeling, thinking, perceiving) as the race progressed. The researcher helped the rowers with this description with prompts about their sensations, perceptions, focus of attention, concerns, emotions, and thoughts. Each interview was recorded in full using a digital camera so the race trial events could be mapped to the comments in the self-confrontation interviews.

Mechanical measures. The mechanical data were collected during the race using the *Powerline* system (Peach Innovations, Cambridge, UK). This system has a data acquisition and storage center connected to several sensors: two sensors measure the forces applied at the pin of the oarlocks (in the direction of the longitudinal axis of the boat) and two sensors measure the changes in oar angles in the horizontal plane (the angle formed by the oar, with the axis perpendicular to the longitudinal axis of the boat). The accuracy of the force and angle sensors is 2% of full scale (1500 N) and 0.5°, respectively. The calibration of sensors was carefully checked before the experiment.

Data analysis

Analysis of the courses of experience. First, the data from the audiovisual recordings and the interview were fully transcribed. These transcriptions were synchronized on a table: the first column noted the race time; the second, the rowers' verbal communications during the race; and the third and fourth, the rowers' and researcher's verbalizations during the self-confrontation interviews (Table 1). Second, we reconstructed the two rowers' course of experiences during the race. A course of experience is a chain of activity units that are meaningful to the actor. By hypothesis (Theureau, 2003), an activity unit results from the articulation of six components that respectively account for the following phenomena of human experience: (a) The actor's concerns at instant t ; (b) the actor's expectations at instant t ; (c) the knowledge mobilized by the actor at instant t ; (d) the elements of

the situation taken into account at this instant; (e) the part of the actor's activity that is meaningful to him or her at instant t (action, communication, focus of attention, interpretation, or sentiment); and (f) the construction of new knowledge at this instant. Analysis consisted of reconstructing the chain of meaningful activity units for each rower based on the audiovisual recordings and verbalizations. Third, the rowers' courses of experience were time-synchronized so we could compare the similarities and differences in their concerns, expectations, perceptions, and interpretations at each instant of the unfolding race.

Table 1. Illustration of how verbalization data were synchronized at a given instant of the race to allow for the further analysis of verbal communication.

Communication [Race time]	Rower's (G) and researcher's (R) verbalizations	Rower's (V) and researcher's (R) verbalizations
G : « More length... this one ! » [0:04:11]	<p>G-... Here, we should not pillow the bow. So it is true that at this instant, it make us again more relaxed... and be careful. Now, I will say "length" because I know that we will have waves. And we will need more length together at this instant.</p> <p>R- And how do you feel it now ? These waves...</p> <p>G- At this instant, I did not feel the waves. So I think that there were no waves at this instant. But I thought that there might be waves so I relaxed, and it will be useful for the boat.</p> <p>R- And were you surprised not to feel waves ?</p> <p>G- No. I would have noticed it if there were waves, but since there was no waves, or very few, I was not disturbed, so no problem.</p> <p>-----</p> <p>G- So now, I said length. We must increase the length because I saw that the speed decreased and we had to row together in length to keep the targeted speed. I think at the catch and at the boat slide as much as possible, always in the same way, and do not decrease too much for each stroke. We need to erase all cross waves of the boat.</p> <p>R- OK, and from the bridge till here, i.e., the start of the 2000m. How do you feel the race? Was it good for you?</p> <p>G- Yes, it was good. For now, I do not feel much fatigue. But I continue putting some rhythm, because it is at this instant, I think, that we have to find the pace that leads us to the finish. We have to stay lucid as long as possible.</p>	<p>V- With G, when he rows well, when he feels comfortable and can do what he wants. When it is good, when we go fast, as now, I feel that I work alone in my side, but also to let G doing what he wants...</p> <p>R- And now, you feel that it is better ?</p> <p>V- Yes, at this instant, it starts to go well, so I tried not to disturb him.</p> <p>R- OK, now, we have just crossed the bridge.</p> <p>-----</p> <p>V- We have just crossed the bridge, we are good, I try to be well placed to lighten the boat.</p> <p>R- Yes, you think again to that, at this instant?</p> <p>V- Yes, I try to always think about that. But in some time when... but now we are still lucid. It is 4 min max that we started, I am able to stay focused on my posture. I am still able to feel it now.</p> <p>R- And now?</p> <p>V- Now, still the same, it will be a lot of that until the end. My posture is probably my main problem, so I try to stay focused.</p> <p>R- And what about the boat slide and your feelings ?</p> <p>V- Now, I think that there was still a little of boat pitch. I feel that we still induce boat pitch. I feel that we have not enough lightened the boat to feel that the boat always slide and that we do not disturb that.</p>

Calculated mechanical parameters. Parameters were first calculated from the rowers' strokes to account for each rower's individual performance: pace of the strokes, stroke force, and power produced were computed in this light. Second, the movement of the boat was assessed by calculating instantaneous velocities and their variability (SD). Third, the degree of rowing synchronization was assessed by computing the continuous relative phase (De Brouwer, de Poel, & Hofmijster, 2013) between individual powers and stroke amplitudes produced (see Figures 1A and 1B).

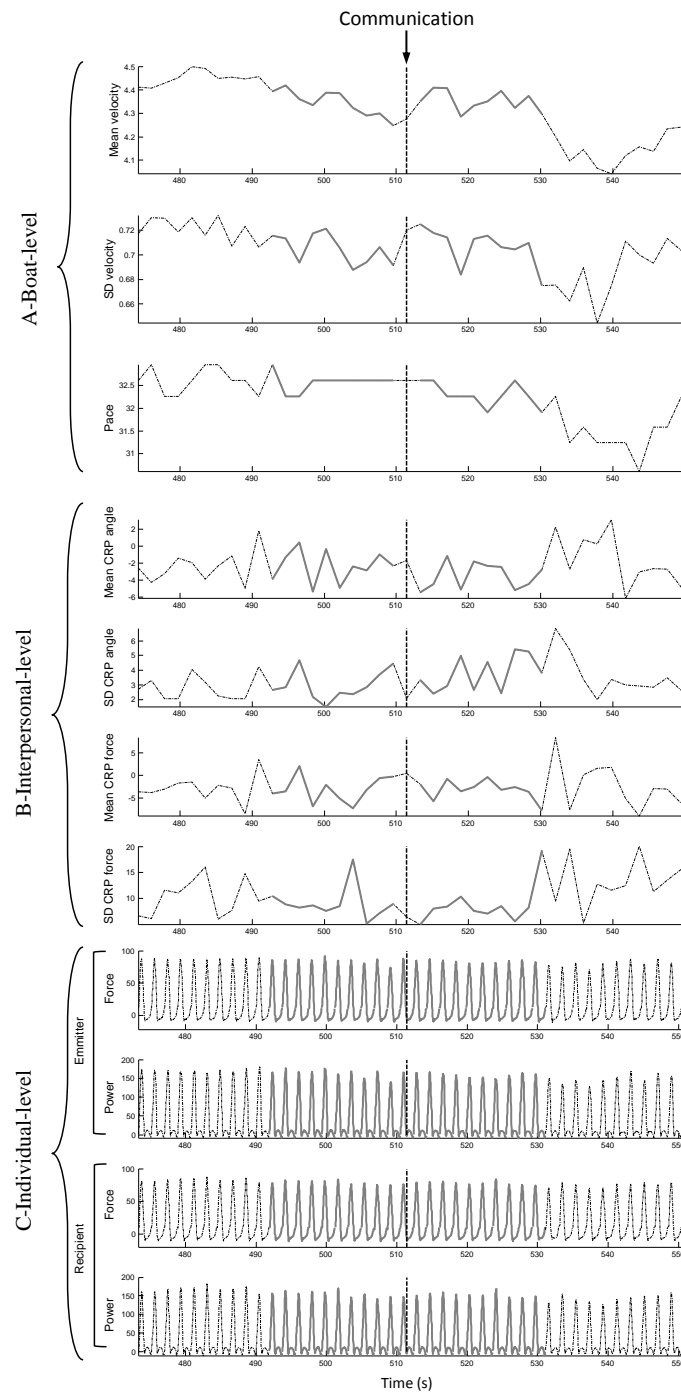


Figure 1. Evolution of the variables of interest before and after communication number 10 at boat level (A), interpersonal level (B) and individual level (C) of analysis. Instant of communication is represented with vertical dotted lines. Data are represented between 20 cycles before to 20 cycles after the communication. Comparisons were made between the 10 cycles before and the 10 cycles after the communication (represented in grey).

Crossed analysis of courses of experience and mechanical parameters. The crossed analysis of courses of experience and mechanical parameters aimed to first identify the subjective concerns that led the emitter to perform the considered verbal communication, and second, to identify the consequences associated with the verbal communication.

First, we identified the verbal communications during the race and positioned the time code of these occurrences exactly within the courses of experience of the team members respectively, and within the mechanical time series (i.e., 17 verbal communications were identified). The race dynamics were sampled so that ten strokes before and after each identified time code constituted the units of analysis of each verbal communication ($M=36\text{sec}$ for each considered sequence of communication) (Figure 1B).

Second, the subjective concerns that led a given participant to communicate were identified from the participant's course of experience. Then the list of singular subjective concerns was submitted for a thematic analysis (Braun & Clarke, 2006) that highlighted two main themes (communicating to collectively change the boat speed; communicating to collectively improve interpersonal coordination). The communications were then classified as belonging to one of the rowers, as were the mechanical time series associated with the communication. This procedure ensured primacy of subjective data in sampling the collected mechanical data into distinct data sets.

Third, the situational changes around each communication were analyzed by scrutinizing the ten strokes that preceded and followed the time code of the considered communication. This analysis included a first part that consisted of inspecting how the teammate (i.e., the recipient of the verbal communication) experienced the communication, especially the sense he made of it. The analysis also included a second part that consisted of inspecting how the mechanical measures changed around the considered communication. For that, paired t-tests were performed to assess the statistical differences in parameters between the preconditions of each communication, and its post-conditions. The statistical significance was set to $P < 0.05$.

RESULTS

The results are presented in four sections according to the study objectives: subjective concerns that led a given team member to initiate a verbal communication, consequences of the

communication on the recipient's course of experience, mechanical measures' changes surrounding the communications, and combining the consequences of the recipient's experience with those of the setting's dynamics.

Subjective concerns for using verbal communication

From the description of the activity at a level that was meaningful to the participants, the thematic analysis of the subjective concerns that led a given team member to verbally communicate during this rowing race identified five main categories of subjective concerns for using verbal communication. These were: (a) Increasing the pace of the oars' strokes' (IPOS-E; 2 occurrences); (b) Maintaining the pace of the oars' strokes (MPOS-E; 6 occurrences); (c) Maintaining the boat's velocity (MBV; 2 occurrences); (d) Synchronizing the oars' strokes (SOS; 4 occurrences); and (e) Together extending the oars' strokes (TEOS; 3 occurrences). These first-order categories then collapsed into two second-order categories of subjective concerns about: (a) Together acting on the boat's speed (IPOS-E, MPOS-E, and MBV; 10 occurrences), and (b) Together acting on the interpersonal coordination's effectiveness (SOS and TEOS; 7 occurrences). The development over time of each of the communication types is presented in the Table 2. A look at this development (i.e., Table 2, fourth column) allows us to identify two main phases within the race. The first phase includes communications 1-12 and consists of the rowers communicating to act together on the speed of the boat by controlling the state of the coordination (communications 2, 5-6) in some instances. The second phase runs from communication 13 to 17, and consists of the rowers communicating to ensure effectiveness of their interpersonal coordination, together with controlling the boat's speed (communication 17).

Table 2. Development over time of the verbal communications, regarding the concerns that drove the emitter's (left panel) and the subsequent recipient's (right panel) nature of subjective activity. G and V are the rowers. I=Ineffective. E=Effective. None=No effect.

Time code	Activity of the emitter	Activity of the recipient		
ID (min:s)	Verbal communication [Emitter]	Subjective concern for communicating	Subjective concern after having heard the verbal communication	Effectiveness
1 02:40	"It is good!" [V]	Maintaining the pace of the oars'	Re-synchronizing the oars' strokes	I
2 02:44	"Come on, more length... now, this one" [G]	Synchronizing the oars' strokes	Re-synchronizing the oars' strokes	E
3 02:44	"Come on, more length... now, this one" [G]	Increasing the pace of the oars' strokes	Re-synchronizing the oars' strokes	I
4 02:51	"That's it!" [G]	Maintaining the pace of the oars'	Maintaining the perceived speed of the	E
5 04:11	"More length... this one" [G]	Together extending the oars' strokes	Maintaining the perceived speed of the	I
6 06:07	"Come on, get it back!" [G]	Synchronizing the oars' strokes	Not considering the verbal	None
7 07:16	"Come on, keep the rhythm!" [G]	Maintaining the pace of the oars'	Maintaining the pace of the oars' strokes	E
8 07:42	"Come on, lighten the boat!" [V]	Maintaining the boat's velocity	Maintaining the pace of the oars' strokes	E
9 08:22	"That's it, it is restarted now!" [G]	Increasing the pace of the oars' strokes	Increasing the pace of the oars' strokes	E
10 08:36	"Ah, it is fast now!" [G]	Maintaining the pace of the oars'	Extending the oars' strokes to be in sync	I
11 09:36	"Come on, we are getting faster, again!" [G]	Maintaining the pace of the oars'	Extending the oars' strokes to be in sync	I
12 10:10	"Come on, that's it!" [V]	Maintaining the boat's velocity	Extending the oars' strokes to be in sync	I
13 10:14	"That's it, get the right posture!" [V]	Together extending the oars' strokes	Maintaining the perceived speed of the	I
14 10:46	"Come on, again the right posture!" [V]	Together extending the oars' strokes	Maintaining the perceived speed of the	I
15 10:59	"Come on, full length!" [G]	Synchronizing the oars' strokes	Maintaining the perceived speed of the	I
16 11:05	"Come on, the images!" [G]	Synchronizing the oars' strokes	Not considering the verbal	None
17 11:34	"Come on, keep it cool" [V]	Maintaining the pace of the oars'	Re-synchronizing the oars' strokes	I

Consequences on the recipient's course of experience

From the description of the activity at a level that was meaningful to the participants, the thematic analysis of how the rowers experienced each verbal communication, and what the subsequent concerns of the recipient were, six first-order categories of concerns were observed within the intended recipient's course of action. These were: (a) Maintaining the perceived speed of the boat (MPSB; 5 occurrences); (b) Maintaining the pace of the oars' strokes (MPOS-R; 2 occurrences); (c) Increasing the pace of the oars' strokes (IPOS-R; 1 occurrence); (d) Re-synchronizing the oars' strokes (RSOA; 4 occurrences); (e) Extending the oars' strokes to be in sync (EOSS; 3 occurrences); and (f) Not considering the verbal communication (NC; 2 occurrences). Three second-order categories were allowed to collapse these consequences: (a) Acting on the boat (MPSB, MPOS-R, and IPOS-R; 8 occurrences); (b) Acting on interpersonal coordination (RSOA and EOSS; 7 occurrences); and (c) Not considering the verbal communication (NC; 2 occurrences). The development over time of each type of consequence on the recipient is presented in Table 2 (right side). The right side of Table 2 also emphasizes the congruences between the emitter's subjective concerns in verbally communicating and the recipient's simultaneous activity. The side-by-side comprehensive analysis points to three forms of consequences on the recipient's sense-making dynamics. These are: (a) An effective consequence (5); (b) An ineffective consequence (10); and (c) No consequence (2). These results suggest that most of the verbal communications used in real-time crew coordination have consequences on the recipient's course of experience (i.e., 15/17 were received), but most of the communications (i.e., 12/17) were not received by the teammate as the emitter expected.

Changes within the mechanical measures

Mechanical measures were used to track the changes that surrounded each verbal communication, especially on the boat, on interpersonal coordination, and the team members' individual parameters. The results of these analyses are presented in Table 3. All the parameters tested changed at some points of the verbal communication, except for the synchronization of forces applied on the oars, which always remained stable before and after a verbal communication. The boat's velocity and pace of the strokes were the most affected parameters, even if the relevant communication aimed to act on interpersonal coordination. The measures of variability of each indicator were informative, in that the mechanical consequences may not refer to the level of the parameter, but to its instability; for instance, making the boat's velocity more stable (i.e., communication 10). Most of the time, the variability of the given indicators increased after the verbal communication (i.e., 6/8 communications were associated with an increase in variability), thus indicating an in-process adaptation of the participants' activities. A specific focus on the verbal

communications directed towards interpersonal coordination enhancement suggests that most of these communications did not affect the computed coordination variables, but did affect the boat's velocity and pace of the strokes.

Table 3. Synthesis of the analysis of mechanical parameters. All the mechanical measures performed are introduced by highlighting only those that showed significant differences between the sequence before and after a given verbal communication.

ID	Boat-level				Interpersonal-level				Individual-level (Emitter)		Individual-level (Recipient)	
	Velocity		Pac	Forces		Angles		Force	Powe	Force	Power	
	M	SD	M	M	SD	M	SD	M	M	M	M	
1	-	-	-	-	-	-	-	D	D	I	I	
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	
4	D	-	D	-	I	-	-	-	-	-	D	
5	-	-	-	-	-	-	I	-	-	-	-	
6	I	-	-	-	D	-	-	-	-	D	I	
7	-	-	D	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	I	-	I	-	-	-	-	I	I	-	I	
1	-	D	-	-	-	-	-	D	D	D	D	
1	-	-	D	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	I	I	-	-	-	-	-	I	I	I	I	
1	I	I	I	-	-	-	-	I	I	I	I	
1	I	-	I	-	-	-	-	I	I	-	-	
1	I	-	-	-	-	-	-	I	I	-	I	
1	I	-	-	-	-	-	-	I	I	-	-	
1	I	I	I	-	I	D	-	I	I	I	I	

Note. D=Significant Decrease. I=Significant Increase.

At the level of individual mechanical parameters, the results reveal that the most affected individual parameter was stroke power. The results show that most of the verbal communications (14/17) were associated with changes in a team member's individual activity parameters. For more than half of the communications (9/17), the emitter of the verbal communication changed his individual activity after communicating, while the individual activity of the intended recipient changed for nearly two-thirds (11/17) of the verbal communications. Considering the boat, interpersonal, and individual levels of description of the mechanical variations, the results show that individual parameters may change without any significant effect on the boat's velocity or interpersonal coordination (i.e., communications 1-3). They also show that when team members both change their stroke power, the simultaneous effects observed at the boat and interpersonal levels of description are not always similar. Interestingly, a further focus on communication 10 reveals that both rowers significantly decreased their power/force signatures, without any decrease of performance indicators being observed at the boat or interpersonal levels of description. On the contrary, a more stable velocity of the boat was observed, indicating that individual performers may

decrease their effort to obtain advantages at upper levels of organization.

Then, focusing on the boat and interpersonal levels of description, the comprehensive analysis of the forms of changes observed in the setting pointed to three categories of changes: (a) The change in the setting was similar to what the emitter expected (communications 4, 6, 9, 11-12); (b) the change in the setting was not similar to what the recipient expected, but remained compatible with enhanced overall performance by the crew (communications 10, 13-16); and (c) the change in the setting was the opposite of what the emitter expected (communications 5, 7, and 17). The observed occurrences for each of these forms suggest that only three (3/17) verbal communications were associated with counter-productive effects in the real-time crew's performance (communications 5, 7, and 17).

Combination of the consequences on the recipient's experience and on the setting dynamics

Our study identified the overall effectiveness of verbal communications, thanks to a comprehensive analysis of the consequences observed at the level of the recipient's course of experience (first part of the results) and at the level of the mechanical parameters (second part of the results). A given consequence on the recipient was characterized as being 'missed' when the following concerns of the intended recipient were not similar to what the emitter was trying to provoke (communications 1, 3, 5, 6, 10-17); otherwise it was characterized as successful (communications 2, 4, 7-9). The subsequent changes observed on the setting were characterized as being 'missed' when no situational changes or inverse changes were simultaneously observed (communications 1, 2, 3, 5, 7-8 and 17); these changes were characterized as 'positive' when they were similar to what the emitter aimed to provoke or when they contributed to enhance the boat's speed (communications 4, 6, 9-16). Results thus show that only two-fifths of the successful verbal communications (i.e., on the intended recipient) were associated with positive changes in the setting (communications 4 and 9), which indicates that a successful consequence on the teammate did not guarantee a correlated change in the setting. The results also show that 8/12 of the verbal communications that missed their subjective effect on the recipient (i.e., he did not accordingly change his concerns) were associated with positive changes in the setting (communications 6, 10-16), which indicates that much of the verbal communications were associated with positive changes, disregarding the extent to which they were successfully received.

DISCUSSION

The aim here was to revisit our knowledge of team functioning by considering verbal communication as an ongoing process that occurs on and through the dynamics of team coordination. To understand verbal communication, we studied the consequences of verbal communications on the coordinated teammate and on the boat's and oars' parameters. To this end,

we used a combination of first- and third-person methodologies, which is an approach relatively new to research on teams (Poizat et al., 2012). Below, we discuss our results in relation to our objectives of identifying the subjective concerns that led a given team member to communicate verbally in the flow of real-time team coordination, identifying the consequences of the verbal communications on the recipient, and identifying the changes on the physical and material setting that surrounded the verbal communications.

To describe the subjective concerns of making use of verbal communication in the rowing team involved in this study, we examined portions of activity preceding the occurrences of a verbal communication at an activity level that was meaningful to the participants. The thematic analysis conducted on these data indicated two main concerns for using verbal communication. These were that the rowers acted together on boat speed and on the effectiveness of interpersonal coordination. The development over time of each of the communication concerns showed two main phases of the race: Most of the communications performed at the beginning of the race concerned the boat's speed; the second phase mostly included communications driven by a willingness to maintain effective interpersonal coordination. Both of these modes of activity echo research conducted in expert rowing. First, the feeling of not being satisfied by the state of the real-time crew's coordination was first pointed out by Sève and colleagues (2013) in their study of an expert female crew. The specific contribution of the present study is to evidence how this experience may lead to the use of verbal communication to force the crew to make a cooperative effort to recover its interpersonal coordination flow. Second, the willingness to directly act on the boat without direct concern for interpersonal coordination was discussed by Millar (2014) in his qualitative study on how expert rowers experienced their collective behavior on a boat. The author called extrapersonal coordination a coordination of rowers mediated by their material setting (i.e., the boat): "Interpersonal coordination is normally thought of as between organisms but a subset can also be considered where the co-actors' movements are coupled to an environmental rhythm. This can be termed Extrapersonal coordination" (Millar, 2014, p. 37). Millar (2014) then suggested that it was not the rowers' intrapersonal and interpersonal coordination movements, but their coordination with the boat, respectively, that is important. As such, the author's conclusion accords with our results, but our results also highlight that the extrapersonal coordination mode only fits a part of our data; for example, it does not fit with how the end of the race was experienced. Future research should thus establish whether extrapersonal coordination modes might match with interpersonal coordination modes across unfolding rowing activity, and how these modes might be chained together in time.

To identify the consequences the verbal communications had on the recipient, we examined those parts of the course of the intended recipient's experience that followed the verbal

communication. The thematic and comprehensive analysis conducted on these data indicated three forms of consequences related to i) acting on the boat, ii) acting on interpersonal coordination, as to iii) not consider verbal communication. As such, these types of consequences match the themes that emerged from the perspective of the communication's emitter, while the last type of consequence (i.e., not considering verbal communication) argues for and illustrates how communicating cannot be reduced to the content of what is said, and how the consideration of the recipient's point of view here helps to disentangle how some communications can fail. Moreover, this result further argues for the heuristics of first-person approaches in communication studies. More interestingly, the results provided a side-by-side comparison of what the emitter aimed to provoke with the verbal communication, and what the recipient adopted as a main concern. This comparison suggested that some of the verbal communications had consequences on the recipient, but most of them were not received as expected from the emitter's perspective. This result might be discussed in light of two theoretical explanations. The first explanation would suggest that the team members were not trained enough to communicate harmoniously and to share their understanding of the setting based on very short and specific messages. As explained by Eccles & Tenenbaum (2004), the more expert a team is, the more implicit its intra-team coordination becomes. Implicit coordination is assumed to be associated with a decrease in the overall amount of verbal communication, an increase of short and coded messages (i.e., standardized, thanks to the team experience), and subsequent decrease in misunderstanding between team members. In this view, the numerous unanticipated effects of verbal communication observed in the present study might indicate a lack of implicit processes within the team. Given that the rowing pair under study was training together for three seasons, we accept the possibility of such a theoretical explanation, but consider it as few creditable. The second explanation suggests that it is very hard for an athlete to act on the real-time intrinsic dynamics of one of his teammates by a simple and sudden short verbal communication, because this teammate also has a perception of what is required in the setting. Indeed, the singular perception the recipient built on the setting and its needs cannot easily be changed by a sudden verbal communication, and makes it difficult for him to switch from his concerns to a concern similar to what the emitter expected. Future research might establish whether such a resilience from the recipient to take into account the content of the verbal communication in expert athletes depends on variables such as the level of team expertise, the communication team's training practices, the sensory-motor attributes of the sport under consideration, or the level of the physiological effort implied.

To identify the changes in the collective setting that immediately followed the verbal communications, we examined the variations of some mechanical measures around the occurrence of each verbal communication. These analyses were quantitative and inferential, and conducted in light of three related levels of analysis. These are the dynamics of the boat's properties, the

interpersonal coordination dynamics, and the dynamics of the team members' individual parameters. The results show how various mechanical parameters were changed around verbal communication. Only the measure of the synchronization of forces applied on the oars always remained stable before and after all the verbal communications. This result provides evidence that the rowers could adapt the force exerted on the oars, but without this exertion affecting their interpersonal coordination. This result accords with the study of Hill (2002), which showed how hard it is for a rower, and subsequently two rowers trying to act together, to change the moment at which the peak force is produced (i.e., the force-time profile). As hard as this task is, some authors have provided insights of the extent to which individual oar strokes can be adapted to enhance interpersonal coordination. They showed that this adaptation depends on the partner and the level of his investment in synchronization (Baudouin & Hawkins, 2004) and of his rowing experience (Smith & Spinks, 1995).

Otherwise, the boat- and interpersonal-level parameters that changed the most around the verbal communications were the velocity of the boat and pace of the strokes. This result provides evidence that these parameters are the most sensitive to the ongoing changes in team activity, which make them good candidates to track the quantity of adaptation performed by a crew. Moreover, the notion of adaptation is illustrated by the following result: Most of the time the verbal communications led to an increase in the variability of indicators, rather than to their stabilization. This indicates that the communications implied, as their main effect, an immediate adaptive activity in terms of exploring new states (i.e., rather than recovering a stable state) of the considered parameters. As such, this result accords with the ecological dynamics theory (Araujo et al., 2006) and theory of teams as complex adaptive systems (Arrow, McGrath & Berdahl, 2000) for which variability might be considered "healthy"; that is, a sign positive of adaption.

Being focused on the setting changes observed at the individual team members' level of description, the results reveal that the verbal communications were associated mostly with changes in the recipient's activity, and, to a lesser extent, with the emitter's activity. This indicates how communications initiated by team-level concerns needed the intended recipient to change the dynamics of his activity, including some simultaneous changes in the emitter's activity. Of further interest was that individual parameters could change around the communication without any effect observed on the boat or on interpersonal coordination, indicating that the team-level effects under study (i.e., at the boat and interpersonal levels) were resilient enough not to be automatically affected by variations in the dynamics of individual activities. In the same way, a specific communication (i.e., communication 10) was of particular interest for discussing the interplay between individual performance variations and upper team-level simultaneous effects. The results reveal that both rowers significantly decreased their individual performance level, without any

decrease in performance indicators observed at the boat or interpersonal levels of description. On the contrary, a more stable velocity of the boat was observed. By indicating that the individual performers decreased their respective efforts to gain advantage at boat level, our study thus offers a paradigmatic illustration of collective intelligence phenomena (Eccles & Tenenbaum, 2014), and argue for the relevance of multi-level theories for addressing complex systems issues (Bourbousson et al., 2015). While decreasing individual efforts has usually been referred to as the phenomenon of social loafing (Steiner, 1972), the present illustration of a multi-level framework suggests how this view of the reduction of effort might be misleading in understanding the complexity of team coordination production.

Our results also allowed for a joint analysis of the consequences observed on the recipient and simultaneously observed on the setting. These results first show that most of the communications directed towards enhancing the interpersonal coordination dynamics (from the perspective of the emitter of the verbal communication) did not have consequences on the coordination variables measured, but had consequences on the velocity of the boat and pace of the strokes. This result shows that a verbal communication may have various consequences that do not necessarily achieve the purpose for which it was intended. Second, the results show that less than half of the successful verbal communications (i.e., verbal communication that successfully changed the concerns of the recipient) were associated with positive changes in the setting (i.e., the boat's dynamics), which clearly indicates that a successful consequence on the teammate did not guarantee the expected changes in the setting. Alternatively, two-thirds of the missed verbal communications (i.e., the recipient did not change his concerns accordingly) were associated with positive changes in the setting, which indicates that the verbal communications had positive consequences disregarding the extent to which they were successfully received. Future research mobilizing joint analysis of the recipient vs. setting consequences should thus establish whether different forms of verbal communications (for example with regards to a content analysis of what is said) might be more or less resilient to a missed reception from a team member. Such research may help practitioners to identify the extent to which specific communication modes can be preferable to other when time or/and emotional pressure do not allow for long speech.

The present study also provided the opportunity to explore the combination of potential first- and third-person methodologies within team coordination research. Based on our experience of applying this approach here, we believe it offers benefits to research in this area. First, combining first- and third-person methodologies to describe how verbal communications help to achieve team coordination led us to look away from a limited analysis of the content of what was said (e.g., Lausic et al., 2009), and to focus on how what was said made (or did not make) the emitter, the recipient, and their common physical and material setting function together harmoniously. Second, compared

to the usual descriptions of teammates' courses of experience, which have been provided in various team sports (e.g., Bourbousson et al., 2015), the use of this mixed method led us to perform a systematic and analytic objective data collection, which enabled us to describe in great detail the situational (i.e., mechanical) pre-conditions that gave rise to the course of the team members' experience.

The present study also provided the opportunity to explore the potential of the course-of-action framework within interpersonal coordination research. We believe the approach offers benefits to research in this area. First, this framework is constructivist, wed to a phenomenological epistemology (Theureau, 2003), and is concerned with understanding actors' experiences of the activity in great detail. As performed in the present study, the course-of-action framework allowed for access to the subjective concerns that gave rise to the use of verbal communications. This framework is thus useful for capturing the subjective and dynamic properties of team members' participation in joint sense making and the timing and sequencing of team members' actions. Second, by including a methodology that makes use of retrospective phenomenological interview techniques (i.e., a first-person approach), the research design permits activity to be studied based on the reconstruction of the natural and specific conditions of the situated activity, and can thus reveal how participatory sense making develops in its real-world setting.

There are limitations to this study. In terms of the study's internal validity, the subjective data here are based on participants' verbal reports about their activity. Verbal reports are limited to pre-reflective aspects of the control of that activity. Our method would not have captured any unconscious aspects of such control. The mechanical data have been chosen in light of previous studies conducted in the field. Perhaps the retention of other indicators would provide other evidence of consequences in the material and physical setting. Aspects of the study also limit the generalizability of the findings. First, the study involved only one highly skilled team, and the amount of verbal communications processed was small. Future studies should include larger samples of teams and data involving teams at different skill levels, and including a larger amount of verbal communication occurrences. Nonetheless, the desire for larger data sets will need to be balanced against the demands associated with the method used here. The desire to ground the mechanical data in the meaning participants placed on events and in the natural team context meant that the method adopted was time consuming. Third, the team was tested at a particular point in the season and communication modalities may have changed over the season as rowers practiced together (e.g., becoming more coded or self-referenced). Longitudinal studies could be used to identify how the verbal communications change across the season.

In this article we described forms of subjective concerns that led to using verbal communication, and forms of consequences associated with the use of verbal communication within

a high-level rowing team, and how these verbal communications change during a race. We also attempted to identify what makes a verbal communication successful. Finally, we explored the potential for a combination of first- and third-person approaches to contribute to the current understanding of team functioning. Among the key results was that a verbal communication might have various consequences, that do not necessarily reflect the purpose for which it was produced; that a successful consequence of the communication on the teammate's experience did not guarantee the expected effect on the setting (i.e., the boat); and that most of the verbal communications had positive consequences, disregarding the extent to which they were successfully received. The continued study of the emerging topic of communication as a main process of interpersonal adjustments will enhance our current understanding of how teams in sport coordinate their activities to achieve team effectiveness.

Acknowledgements

The authors thank Ali Abouelouafa for his contribution to verbatims' translation at the manuscript writing step. Authors also thank the Region Pays de la Loire for granting this project.

References

- Araújo, D., Davids, K. and Hristovski, R., The Ecological Dynamics of Decision Making in Sport, *Psychology of Sport and Exercise*, 2006, 7(6), 653-676.
- Arrow, H., McGrath, J. E., & Berdahl, J. L. (2000). Small groups as complex systems: Formation, coordination, development, and adaptation. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Baudouin, A., & Hawkins, D., (2004). Investigation of biomechanical factors affecting rowing performance. *Journal of Biomechanics*, 37, 969– 976.
- Bourbousson, J., R'Kiouak, M., Eccles, D.W. (2015). The Dynamics of Team Coordination: A Social Network Analysis as a Window to Shared Awareness. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 24. doi: 10.1080/1359432X.2014.1001977
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3, 77-101.
- Davids, K. (2015). Athletes and sports teams as complex adaptive system: A review of implications for learning design. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 11, 48-61.
- De Brouwer, A. J., de Poel, H. J., & Hofmijster, M. J. (2013). Don't rock the boat: how antiphase crew coordination affects rowing. *PloS One*, 8(1).
- Eccles, D. W., & Tenenbaum, G. (2004). Why an expert team is more than a team of experts: A social-cognitive conceptualization of team coordination and communication in sport. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 26, 542-560.
- Hauw, D., & Durand, M. (2005). How do athletes interact with the environment in competition ? A

- situated analysis of trampolinists' activity. *European Review of Applied Psychology*, 55, 207–215. doi: 10.1016/j.erap.2004.12.002
- Hill, H. (2002). Dynamics of coordination within elite rowing crews: evidence from force pattern analysis. *Journal of sports sciences*, 20(2), 101-117.
- Lausic, D., Tennebaum, G., Eccles, D., Jeong, A., & Johnson, T. (2009). Intrateam communication and performance in doubles tennis. *Research quarterly for exercise and sport*, 80(2), 281-290.
- Lausic, D., Razon, S., & Tenenbaum, G. (2014). Nonverbal sensitivity, verbal communication, and team coordination in tennis doubles. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, (ahead-of-print), 1-17.
- LeCouteur, A., & Feo, R. (2011). Real-time communication during play: Analysis of team-mates' talk and interaction. *Psychology of sport and exercise*, 12(2), 124-134.
- Millar, S. K. (2014). *Interpersonal and extrapersonal coordination in high-performance rowing* (Doctoral dissertation, Auckland University of Technology).
- Poizat, G., Bourbousson, J., Saury, J., & Sève, C. (2012). Understanding Team Coordination in Doubles Table Tennis: Joint Analysis of First- and Third-Person Data. *Psychology of Sport & Exercise*, 13, 630-639.
- Sève, C., Nordez, A., Poizat, G., & Saury, S. (2013). Performance analysis in sport: Contributions from a joint analysis of athletes' experience and biomechanical indicators. *Scandinavian Journal of Medecine and Science in Sports*, 23, 576-584.
- Smith, R. M., & Spinks, W. L. (1995). Discriminant analysis of biomechanical differences between novice, good and elite rowers. *Journal of sports sciences*, 13(5), 377-385.
- Steiner, I.D. (1972). *Group process and productivity*. Academic Press, New York, NY.
- Theureau, J. (2003). Course-of-action analysis and course-of-action centered design. In E. Hollnagel (Ed.), *Handbook of cognitive task design* (pp. 55–81). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. doi: 10.1201/9781410607775.ch4
- Varela, F. J., & Shear, J. (1999). The view from within. *Journal of Consciousness studies*, 6, 293-96.

PARTIE 5 - CHAPITRE 3

R'KIOUAK, 2014-2017

PROJET DE THESE ANOPACY



APPRENDRE A FONCTIONNER ENSEMBLE : UNE APPROCHE ENACTIVE DES COUPLAGES SOCIAUX**EN AVIRON**

Projet de thèse, 2014-2017

L'étude de la coordination interpersonnelle répond à la fois à des enjeux de connaissances fondamentales sur les processus sous-jacents aux couplages sociaux, et à des enjeux de connaissances plus appliquées dans le domaine du sport. A partir d'une collaboration en place avec le Pôle France Aviron de Nantes, le projet de thèse vise la compréhension des transformations des modalités de coordination interpersonnelle par l'entraînement. Inscrit dans d'une approche énaactive des couplages sociaux (De Jaegher & Di Paolo, 2007) et ayant l'ambition de contribuer au programme de recherche du Cours d'action (Theureau, 2006), le travail de recherche est réalisé en mobilisant conjointement des descriptions en première personne (i.e., données de conscience préreflexive) et en troisième personne (i.e., données mécaniques relevées sur le déplacement du bateau et sur les déplacements et forces des rames) pour appréhender les transformations des patterns de coordination et de leur phénoménologie en situation naturelle. Ces deux registres de description sont combinés en maintenant un primat de l'intrinsèque (i.e., asymétrie du couplage acteur/environnement), pour répondre à une logique des travaux qui tente de montrer *i)* comment les phénomènes d'intelligence collective en aviron s'actualisent différemment avec le niveau d'expertise, *ii)* comment l'aviron a les propriétés d'un système dynamique original (i.e., alternant coordination absolue et relative) susceptible de peser sur la construction de l'expertise, et *iii)* comment le sentiment d'efficacité que les partenaires construisent sur leur coordination est un phénomène ancré dans différents niveaux d'organisation de l'activité collective qui pèsent alternativement sur ce sentiment au cours de l'apprentissage. Ces trois enjeux sont respectivement appréhendés à partir des trois questions de recherche suivantes.

1-COMMENT LES RAMEURS TRANSFORMENT-ILS LES SIGNATURES DE LEUR ACTIVITE INDIVIDUELLE POUR ACCROITRE L'EFFICACITE COLLECTIVE DE LA DYADE ? Pour appréhender cette question, l'étude se construit autour de données longitudinales recueillies auprès de différents « deux de pointe sans barreurs » (deux rameurs, chacun ayant une rame) (i.e., 5-10 dyades selon possibilités). Les participants sont des débutants (aucune pratique de l'aviron en bateau long) dont l'activité est étudiée à plusieurs reprises au cours de leur découverte de l'apprentissage de la coordination interpersonnelle (i.e., une dizaine de recueils). Les signatures de la performance individuelle de chaque rameur sont extraites à partir d'un système de capture mécanique embarqué et de méthodes d'analyse usuelles en

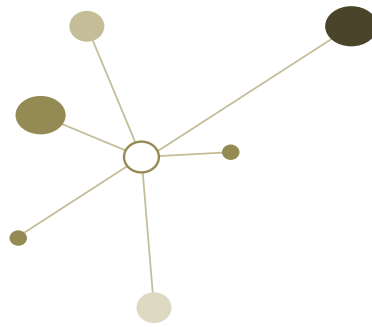
biomécanique de l'aviron. Ces signatures sont identifiées en amont de la séquence d'apprentissage de la coordination interpersonnelle, et au cours de chaque étape de celle-ci. Au cours de la séquence d'apprentissage, des mesures de performance collective sont ajoutées visant à rendre compte de la dynamique de l'activité de chaque paire au fil des entraînements. Ces mesures rendent compte de différents niveaux d'organisation de l'activité (i.e., performance du bateau, degré de coordination interpersonnelle). A partir de ces mesures relevant exclusivement d'un registre comportemental, l'analyse est susceptible de révéler la manière dont les rameurs transforment les signatures de leur activité individuelle pour permettre un gain immédiat ou différé en performance collective. Entre les dyades, des dynamiques contrastées de transformation sont susceptibles de révéler des patterns d'adaptation différenciellement efficaces.

2-COMMENT L'ACTIVITE SIGNIFIANTE DES RAMEURS S'ORGANISE-T-ELLE POUR CONSTRUIRE UNE EXPERTISE DANS LES TRANSITIONS ENTRE COORDINATION ABSOLUE ET COORDINATION RELATIVE ? Pour appréhender cette question, l'étude se construit autour de l'analyse de l'activité d'un deux de pointe sans barreur expert du pôle France de Nantes. Les partenaires sont des athlètes de haut-niveau qui démarrent leur période d'apprentissage à ramer ensemble, période finalisée par un ensemble de compétitions en deux de pointe. Deux séquences de course sur l'eau (i.e., conditions d'entraînement) ont été sélectionnées pour l'analyse. La première coïncide avec le début de la période d'entraînement ; la seconde avec la fin de cette période et le début de la phase de compétition. Une enquête de terrain de trois mois précédant les recueils de données permet la familiarisation du chercheur avec le groupe d'entraînement et la constitution d'un carnet ethnographique. Chaque recueil de données en course comprend une capture de données mécaniques (i.e., système embarqué d'enregistrement des déplacements du bateau et des forces/angles au niveau des rames) et un recueil de données de verbalisations relatives à leur expérience vécue au cours de l'activité-cible (i.e., entretiens d'autoconfrontation réalisés immédiatement après leur course). Pour rendre compte de la manière dont les rameurs font l'expérience de la transition entre la phase aérienne (i.e., coordination relative) et phase aquatique (i.e., coordination absolue) de leur coordination, les données de verbalisation sont analysées au filtre de l'objet théorique du cours d'expérience du programme de recherche du cours d'action. Dans la mesure où l'entrée dans l'eau signe la transition entre les deux modalités de coordination, cet événement est repéré comme la focale de chaque cycle, et les données d'expérience et mécaniques sont traitées autour de cet événement. Sur cette base, sont identifiés pour chaque rameur les éléments d'expérience permettant de comprendre la façon dont cette transition est régulée. A partir des différents modes de régulation identifiés, des échantillons de données mécaniques sont construits pour coïncider avec ces différents régimes d'activité collective. Les caractéristiques mécaniques de ces échantillons sont traitées à différents

niveaux d'organisation afin de permettre l'identification des paramètres discriminant les échantillons construits. Une fois identifiés les facteurs discriminant les échantillons, la discussion porte sur les modes de régulation de cette transition, leur efficacité, et leur transformation par l'entraînement.

3-COMMENT LES RAMEURS EXPERIMENTENT-ILS L'EFFICACITE CROISSANTE DE LEUR ACTIVITE COLLECTIVE ? Pour appréhender cette question, l'étude se construit sur le même recueil de données que détaillé dans la section précédente. Les deux recueils de données (i.e., avant/post entraînement) comprennent une capture de données mécaniques et un recueil de données de verbalisations relatives à leur expérience vécue au cours de l'activité-cible. Pour rendre compte de la façon dont les rameurs font l'expérience de leur efficacité en course, les données d'expérience sont documentées au filtre de l'objet théorique du *cours d'expérience* du programme de recherche du cours d'action, et sont identifiés sur cette base pour chaque rameur les coups de rame vécus comme « bons », ceux non qualifiables, et ceux vécus comme « problématiques ». A partir de cette qualification, les coups de rame vécus simultanément par les deux rameurs comme de bons coups sont extraits et compilés dans un même échantillon. Les coups vécus simultanément comme des coups problématiques constituent un deuxième échantillon. Les données mécaniques associées à chacun des coups de rame constituant l'un ou l'autre des échantillons sont analysées à différents niveaux d'analyse (i.e., performance de chaque rameur, effectivité de la coordination interpersonnelle, performance du bateau) de sorte à identifier les signatures mécaniques de chaque jeu de données. A partir de cette démarche, une comparaison est opérée entre les propriétés des coups de rame vécus simultanément positivement et ceux vécus négativement, ainsi qu'entre les deux temps de mesure (i.e., avant et après entraînement). Ensemble ces analyses sont susceptibles de révéler les facettes à la fois subjectives et comportementales de l'effet de l'apprentissage sur le sentiment d'une efficacité de la coordination interpersonnelle.

CONCLUSIONS



CONCLUSIONS

Exercice difficile que de conclure. A cet effet, je conclus succinctement en pointant les limites essentielles associées à la conduite du présent exercice de synthèse.

UNE PRATIQUE DES PERSPECTIVES SANS LES PERSPECTIVES PRATIQUES ?

La première limite tient à la discussion relativement faible que j'ai menée autour des enjeux de conception de mes travaux empiriques. En effet, je me suis prêté ici à un exercice d'épistémologie générale en lien avec des acquis et attentes empiriques, le tout avec l'ambition de dresser des perspectives de travail. Dans ce cadre, je n'ai pas argumenté sur les liens forts entre recherche et conception qui ont orienté une bonne part de mes travaux initiaux et leur inscription dans une démarche d'ergonomie des situations sportives, et ne les ai pas non plus posées comme organisant la poursuite de mes travaux. J'ai certes évoqué des perspectives d'« application » de mes travaux futurs en direction des sciences du numérique, mais ces perspectives applicatives ne sont pas appréhendées dans leur connexion avec une réalité de terrain indissociable de l'objet d'étude, un besoin de praticien identifié et que le chercheur est susceptible d'éclairer, comme l'étaient mes travaux initiaux qui fondaient l'ingénierie de ma recherche. Loin d'abandonner l'inscription de mes travaux dans des problématiques sportives et relevant globalement de la psychologie appliquée, le stade de développement actuel de mes lignes de recherche, le contexte institutionnel dans lequel elle se déroule, ainsi que la volonté d'avancer en direction d'études plus « modélisatrices » m'écartent certainement à quelques moments de cette connexion, plus que par le passé, mais sans prise de distance délibérée.

UNE APPROCHE ENACTIVE SANS COURS D'ACTION ?

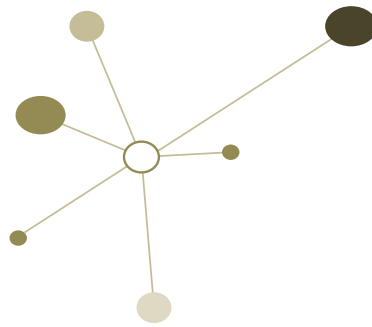
Une autre limite de la présente note de synthèse, par son ambition générale de contribution à une approche énaactive des couplages sociaux, renvoie au fait qu'elle masque/atténue mon inscription dans le programme de recherche du Cours d'action (Theureau, 2006). Cet effet relève d'un choix d'écriture, mais pas seulement. A titre illustratif, dans le projet EmerColl (Bourbousson, 2016-2020), le programme de recherche du Cours d'action est convoqué pour l'intérêt et la sophistication de la modélisation analytique empirique qu'il permet, mais comme ne constituant pas la cible des ambitions théoriques. Non qu'il ne soit pas possible par ce projet de contribuer au développement du programme de recherche du Cours d'action (bien au contraire, par exemple en

avançant des pistes de modélisation synthétique de l'activité), mais dont le retrait en arrière-plan est susceptible de s'inscrire dans des échanges plus denses avec les auteurs de la littérature énaïve, en posant des questions de recherche plus transversales, interdisciplinaires, et moins teintées d'objets théoriques (e.g., discuter du rôle de la (co)régulation du couplage social suggéré en intelligence artificielle). Ainsi, cet effet d'écriture ne doit pas laisser supposer quelque réserve que ce soit à l'égard de ce programme de recherche,

UN PROJET SCIENTIFIQUE ET DE DEVELOPPEMENT DE MON IDENTITE PROFESSIONNELLE

Une des limites non-négligeables à la poursuite de mon programme de travail renvoie aux compétences professionnelles nécessaires à son opérationnalisation. En effet, le programme que j'ai esquissé est largement ouvert sur de nouvelles hypothèses de travail. Il l'est également sur les compétences mobilisées dans sa conduite, notamment les besoins en compétences mathématiques de modélisation pour lesquelles je n'ai pas à ce jour d'expériences avérées. Pour autant, loin d'être un obstacle, ce programme devrait au contraire dans les prochaines années s'opérationnaliser comme le tremplin d'un projet de développement scientifique autant qu'un projet de développement de mon identité professionnelle. La construction associée de nouvelles compétences est ainsi susceptible de redéfinir, au cours de la conduite desdits projets, la manière dont m'apparaissent les questions de recherche d'intérêt. La marche pour chemin.

REFERENCES



REFERENCES

- Adé, D., & Seifert, L. (2015). *Analyser l'activité humaine en contexte à partir d'approches mixtes ? Illustrations dans des situations de compétition et d'intervention en sport*. Symposium organisé au 16e Congrès International de l'ACAPS, 26-28 octobre 2015, Nantes.
- Araujo, D., & Bourbousson, J. (sous presse). Theoretical frameworks for the study of interpersonal coordination in sports settings. In P. Passos (Ed.), *Interpersonal coordination*. New-York, NY: Routledge.
- Araújo, D., Davids, K., Sainhas, J., & Fernandes, O. (2002). Emergent decision-making in sport: a constraints-led approach. In L. Toussaint, & P. Boulinguez (Eds.), *International Congress "Movement, Attention & Perception"* (pp. 77). Poitiers, France: Presses universitaires de Poitiers.
- Arrow, H., McGrath, J. E., & Berdahl, J. L. (2000). *Small groups as complex systems: Formation, coordination, development, and adaptation*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Ashmos, D. P., & Nathan, M. L. (2002). Team sense-making: A mental model for navigating uncharted territories. *Journal of Managerial Issues*, 198-217.
- Auvray, M., & Rohde, M. (2012). Perceptual crossing: The simplest online paradigm. *Frontiers in human neuroscience*, 6.
- Bootsma, R. J., Mottet, D., & Zaal, F. T. (1998). Trajectory formation and speed-accuracy trade-off in aiming movements. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III-Sciences de la Vie*, 321, 377-383.
- Bourbousson, J. (2005). Fatigue et coordination motrice : Influence de la fatigue attentionnelle et/ou musculaire sur la dynamique des patrons de coordination bimanuelle. Mémoire de maîtrise en STAPS non publié, Université de Rennes 2, Rennes
- Bourbousson, J. (2010). *La coordination interpersonnelle en basketball*. Thèse de doctorat en STAPS non publiée, Université de Nantes, Nantes.
- Bourbousson, J. (2013). *Team cognition in sport: What can temporal description reveal about team coordination in basketball?* Invited Session at the 13e ISSP-Congress, 21-25 July 2013, Beijing, China.
- Bourbousson, J. (2013b) *Team coordination in basketball: What can various levels of analysis reveal about interpersonal dynamics?* Invited Session at the ECSS-Congress, 26-29 June 2013, Barcelona, Spain.
- Bourbousson, J. (2013c). *Cours d'action et données quantitatives: L'analyse de l'activité collective*. Conférence invitée aux 6^e Journées Alain Durey, 28 Mars 2013, Créteil.

- Bourbousson, J. (2015). *The Course-of-Action theory: Insights into human activity in sports settings*. Invited Keynote at the 5^e CIJD-Congress, 12-15 novembre 2015, Belo Horizonte, Brésil.
- Bourbousson, J., & Fortes, M. (2012). Anthropologie cognitive et théorie des systèmes dynamiques: Quelles articulations possibles ? In M. Quidu (Ed.), *Les sciences du sport face aux renouvellements théoriques contemporains*. Nancy: Presses Universitaires de Nancy.
- Bourbousson, J., & Mouné, L. (2012). « *Social Network Analysis* » et quantification de la compréhension partagée au sein des équipes. Communication orale aux Journées ACT'ING, 6-8 Juin 2012, Le Croisic.
- Bourbousson, J., & Sève, C. (2010). Analyse de la performance collective, nouveau terrain d'expression de la théorie des systèmes dynamiques. *S.T.A.P.S.*, 90, 59-74.
- Bourbousson, J., Bossard, C., Adé, D. (sous presse). L'intelligence collective. In O. Vors (Ed.), *L'activité collective*. Paris : Editions de la revue EPS.
- Bourbousson, J., Sève, C., McGarry, T. (2010a). Space-time coordination patterns in basketball: Part 1. Intra- and inter-couplings among player dyads. *Journal of Sports Sciences*, 28, 339-347.
- Bourbousson, J., Sève, C., McGarry, T. (2010b). Space-time coordination patterns in basketball: Part 2. The interaction between the two teams. *Journal of Sports Sciences*, 28, 349-358.
- Bourbousson, J., Cogé, G., R'Kiouak, M. (2014a). Emergence et causalité descendante dans l'activité collective : Social Network Analysis et « Réticulation de l'articulation des cours d'action ». In M. Quidu (Ed.), *Les sciences du sport en mouvement : Tome II*. Paris : L'Harmattan.
- Bourbousson, J., Deschamps, T., Travassos, B. (2014b). From players to teams: Towards a multi-level approach of game constraints in team sports. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 9, 1393-1406.
- Bourbousson, J., R'Kiouak, M., Eccles, D.W. (2015). The Dynamics of Team Coordination: A Social Network Analysis as a Window to Shared Awareness. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 24, 742-760.
- Bourbousson, J., Poizat, G., Saury, J., Sève, C. (2010c). Team coordination in basketball: Description of the cognitive connections between teammates. *Journal of Applied Sport Psychology*, 22, 150-166.
- Bourbousson, J., Poizat, G., Saury, J., Sève, C. (2011). Description of dynamic shared knowledge: An exploratory study during a competitive team sports interaction. *Ergonomics*, 54, 120-138.
- Bourbousson, J., Poizat, G., Saury, J., Sève, C. (2012). Temporal aspects of team cognition: A case study on concerns sharing within basketball. *Journal of Applied Sport Psychology*, 24, 224-241.
- Bourbousson, J., R'Kiouak, M., & Saury, J. (2015). The Course-of-Action theory: Insights into human activity in sports settings. In P.J. Greco (Ed.), *Current perspectives on sports games*. Belo Horizonte, Brasil : BH Universidad Ed.

- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology, 3*, 77-101.
- Brill, B. (1983). *Acquisition and transmission of culture: Children learning of everyday technical gestuality, the pounding of millet*. Presentation at the Seventh Biennial Meeting of the International Society for the Study of Behavioral Development, August 1983, Munich, Germany.
- Buhl, J., Gautrais, J., Deneubourg, J. L., Kuntz, P., Theraulaz, G. (2006). The growth and form of tunnelling networks in ants. *Journal of Theoretical Biology, 243*, 287–298.
- Cannon-Bowers, J. A., Salas, E., & Converse, S. (1993). Shared mental models in expert team decision making. In J. Castellan Jr. (Ed.), *Current issues in individual and group decision making* (pp. 221–246). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Carron, A. V., & Hausenblas, H. A. (1998). *Group dynamics in sport (2nd ed.)*. Morgantown: Fitness Information Technology.
- Chalmers, D.J. (2000). What is a neural correlate of consciousness? In T. Metzinger (Ed.), *Neural Correlates of Consciousness: Empirical and Conceptual Questions* (p. 31). Cambridge, MA: MIT Press.
- Cogé, G., R'Kiouak, M., & Bourbousson, J. (2013). *A quantitative approach of the dynamics of intersubjectivity within a soccer team during a game*. Presentation at the 13e Congress of the ISSP, 21-25 July 2013, Beijing, China.
- Cooke, N. J., & Gorman, J. C. (2006). Assessment of team cognition. In W. Karwowski (Ed.), *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (pp.270-275). London: Taylor & Francis.
- Cooke, N. J., Gorman, J. C., Myers, C. W., & Duran, J. L. (2013a). Interactive team cognition. *Cognitive Science, 37*, 255-285.
- Cooke, N. J., Gorman, J. C., Duran, J., Myers, C. W., & Andrews, D. (2013b). Retention of team coordination skill. In W. Arthur, Jr., E. A. Day, W. Bennett, Jr., & A. Portrey (Eds.). *Individual and team skill decay: The science and implications for practice*. New York, NY: Taylor & Francis/Psychology Press.
- Chemero, A. (2009). *Radical embodied cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- David, A. (2003). Etude de cas et généralisation scientifique. *Sciences de Gestion, 39*, 139-166.
- Davids, K. (2015). Athletes and sports teams as complex adaptive system: A review of implications for learning design. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte, 11*, 48-61.
- DeChurch, L. A., & Mesmer-Magnus, J. R. (2010). The Cognitive Underpinnings of Effective Teamwork: A Meta-Analysis. *Journal of Applied Psychology, 95*, 32–53.
- De Jaegher, H., & Di Paolo, E. (2007). Participatory sense-making. *Phenomenology and the cognitive sciences, 6*, 485-507.

- De Jaegher, H., Di Paolo, E., & Gallagher, S. (2010). Can social interaction constitute social cognition? *Trends in cognitive sciences*, 14, 441-447.
- Dieterlen, F. (2008). Mettre les sciences humaines en équations: une méthode simple et robuste. *Archives des Sciences et Compte Rendu des Séances de la Société*, 61, 49.
- Di Paolo, E. A. (2005). Autopoiesis, adaptivity, teleology, agency. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 4, 429-452.
- Di Paolo, E. A., Rohde, M. & De Jaegher, H. (2010) Horizons for the enactive mind: Values, social interaction, and play. In J. Stewart, O. Gapenne & E. A. Di Paolo (Eds.), *Enaction: Toward a new paradigm for cognitive science* (pp. 33-87). Cambridge, MA: MIT Press.
- Duarte, R., Araújo, D., Correia, V., & Davids, K. (2012). Sports Teams as Superorganisms: Implications of sociobiological models of behaviour for research and practice in team sports performance analysis. *Sports Medicine*, 42, 633-642.
- Duarte, R., Araújo, D., Folgado, H., Esteves, P., Marques, P., & Davids, K. (2013). Capturing complex, non-linear team behaviours during competitive football performance. *Journal of Systems Science and Complexity*, 26, 62-72.
- Duquaire, P.V. (2003). Introduction à la pensée de Francisco J. Varela. *Les Cahiers de l'ATP, juillet 2003*, 13.
- Durand, M. (2001). *Chronomètre et survêtement: Reflets de l'expérience quotidienne d'enseignants d'Éducation Physique*. Paris : Editions de la Revue EPS.
- Durand, M., de Saint-Georges, I., & Meuwly-Bonte, M. (2006). Le curriculum en formation des adultes: argumentation pour une approche «orientée-activité». *Raisons éducatives*, 10, 185-202.
- Eccles, D. W., & Tenenbaum, G. (2004). Why an expert team is more than a team of experts: A social-cognitive conceptualization of team coordination and communication in sport. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 26, 542-560.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37, 32-64.
- Esteves, P., Oliveira, R., & Araújo, D. (2011). Posture-related affordances guide attacks in basketball. *Psychology of Sport and Exercise*, 12, 639-644.
- Fantasia, V., De Jaegher, H., & Fasulo, A. (2014). We can work it out: An enactive look at cooperation. *Frontiers in psychology*, 5:874.
- Feigean, M. (2015). *Emergence de comportements collectifs: Construction d'une situation expérimentale d'étude des modes de régulation et de leur dynamique*. Mémoire de Master 2 en STAPS non publié, Université de Nantes, Nantes.
- Felmlee, D. H., & Greenberg, D. F. (1999). A dynamic systems model of dyadic interaction. *The journal of mathematical sociology*, 23, 155-180.

- Fiore, S. M., & Salas, E. (2004). Why we need team cognition. In E. Salas, & S. M. Fiore (Eds.), *Team cognition: Understanding the factors that drive process and performance* (pp. 235-248). Washington, DC: American Psychological Association.
- Froese, T., & Di Paolo, E. A. (2008). Stability of coordination requires mutuality of interaction in a model of embodied agents. In: M. Asada (Ed.), *From Animals to Animats, Proceedings of the 10th Int. Conf. on Simulation of Adaptive Behavior* (pp. 52–61). Berlin, Germany : Springer-Verlag.
- Froese, T., & Di Paolo, E. (2011). The enactive approach: Theoretical sketches from cell to society. *Pragmatics & Cognition, 19*, 1-36.
- Froese, T., & Fuchs, T. (2012). The extended body: A case study in the neurophenomenology of social interaction. *Phenomenology and the Cognitive Sciences, 11*, 205-235.
- Froese, T., & Ziemke, T. (2009). Enactive artificial intelligence: Investigating the systemic organization of life and mind. *Artificial Intelligence, 173*, 466-500.
- Froese, T., Iizuka, H., & Ikegami, T. (2014). Embodied social interaction constitutes social cognition in pairs of humans. *Science, 4*.
- Gallagher, S. (2001). The practice of mind. Theory, simulation or primary interaction? *Journal of Consciousness Studies, 8*, 83-108.
- Gallagher, S. (2003). Phenomenology and experimental design toward a phenomenologically enlightened experimental science. *Journal of Consciousness Studies, 10*, 85-99.
- Garnier, S., Gautrais, J. & Theraulaz G. (2007). The Biological Principles of Swarm Intelligence. *Swarm Intelligence, 1*, 3-31.
- Gautrais, J., Buhl, J., Valverde, S., Kuntz, P., Theraulaz, G. (2014) . The role of colony size on tunnel branching morphogenesis in ant nests. *PLoS ONE 9:e109436*.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA: Houghton Mifflin.
- Gleick, J. (1989) *La théorie du chaos*. Paris : Flammarion.
- Gorman, J. C., Hessler, E. E., Amazeen, P. G., Cooke, N. J., & Shope, S. M. (2012). Dynamical analysis in real time: Detecting perturbations to team communication. *Ergonomics, 55*, 825-839.
- Granic, I. (2000). The self-organization of parent-child relations: Beyond bidirectional models. In M. D. Lewis, & I. Granic (Eds.), *Emotion, development, and self-organization. Dynamic systems approaches to emotional development* (pp. 267–297). Cambridge: Cambridge University Press.
- Hacques, G., Lardy, J. & Bourbousson, J. (2014). *Collective Behavior*. Logiciel écrit sous Matlab®. Référencé APP. IDDN : FR.001.480005.000.D.P.2014.000.31235.
- Hanson, F. E. (1978). Comparative studies of firefly pacemakers. *Federation Proceedings, 37*, 2158–2164
- Haken, H. (2007). Synergetics. *Scholarpedia, 2*, 1400.

- Haken, H., Kelso, J. S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological cybernetics*, *51*, 347-356.
- Heath, C., & Hindmarsh, J. (2002). Analysing interaction: Video, ethnography and situated conduct. In T. May (Ed.), *Qualitative research in action* (pp. 99-121). London: Sage.
- Heath, C., Sanchez Svensson, M., Hindmarsh, J., Luff, P., & Lehn (vom), D. (2002). Configuring awareness. *Computer Supported Cooperative Work*, *11*, 317-347.
- Humphrey, S. E., & Aime, F. (2014). Team microdynamics: Towards an organizing approach to teamwork. *The Academy of Management Annals*, *8*, 1-61.
- Iizuka, H., & Di Paolo, E. A. (2007). Toward Spinozist robotics: Exploring the minimal dynamics of behavioral preference. *Adaptive Behavior*, *15*, 359-376.
- Ilgen, D. R., Hollenbeck, J. R., Johnson, M., & Jundt, D. (2005). Teams in organizations: From input-process-output models to IMOI models. *Annual Review of Psychology*, *56*, 517-543.
- Kelso, J. S. (1997). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior*. Cambridge, MA: MIT press.
- Klein, G. (2008). Naturalistic decision making. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *50*, 456-460.
- Klein, G., Wiggins, S., & Dominguez, C. O. (2010). Team sensemaking. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, *11*, 304-320.
- Kozlowski, S. W., Chao, G. T., Grand, J. A., Braun, M. T., & Kuljanin, G. (2013). Advancing multilevel research design capturing the dynamics of emergence. *Organizational Research Methods*, *16*, 581-615.
- Laroche, J. (2015a). *Interpersonal sensori-motor contingencies : an ecological example from music pedagogy through free interactive improvisations*. Presentation at the International Conference - The Sensorimotor Theory of Perception and Consciousness: Developments and Open Questions, Juillet 2015, Paris.
- Laroche, J. (2015b). The circularity between autonomy and relations. Presentation at the 25th Congress of Herbstakademie, March 2015, Heidelberg, Germany.
- Laroche, J., Berardi, A. M., & Brangier, E. (2014). Embodiment of intersubjective time: Relational dynamics as attractors in the temporal coordination of interpersonal behaviors and experiences. *Frontiers in psychology*, *5*, 1180.
- Lebed, F. (2006). System approach to games and competitive playing. *European Journal of Sport Science*, *6*, 33-42.
- Lebed, F. (2007). A dolphin only looks like a fish: Players' behaviour analysis is not enough for game understanding in the light of the systems approach - A response to the reply by McGarry and Franks. *European Journal of Sport Science*, *7*, 55-62.

- Letsky, M. P., & Warner, N. W. (2008). Macrocognition in teams. In M. P. Letsky, N. W. Warner, S.M. Fiore, & C.A.P. Smith (Eds.). *Macrocognition in teams: Theories and methodologies* (pp. 1-14). Burlington: Ashgate Publishing.
- Li, J., & Roe, R. A. (2012). Introducing an intrateam longitudinal approach to the study of team process dynamics. *European Journal of Work and Organizational Psychology, 21*, 718-748.
- Lund, O., Ravn, S., & Christensen, M. K. (2012). Learning by joining the rhythm: Apprenticeship learning in elite double sculler rowing. *Scandinavian Sport Studies Forum, 3*, 167-188.
- Lux, T. (1998). The socio-economic dynamics of speculative markets: interacting agents, chaos, and the fat tails of return distributions. *Journal of Economic Behavior & Organization, 33*, 143-165.
- Marmelat, V., & Delignières, D. (2012). Strong anticipation: Complexity matching in interpersonal coordination. *Experimental brain research, 222*, 137-148.
- Marsh, K. L., Richardson, M. J., & Schmidt, R. C. (2009). Social connection through joint action and interpersonal coordination. *Topics in Cognitive Science, 1*, 320–339.
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1994). *L'arbre de la connaissance: Racines biologiques de la compréhension humaine*. Paris: Editions Addison-Wesley France.
- McGarry, T. (2009). Applied and theoretical perspectives of performance analysis in sport: Scientific issues and challenges. *International Journal of Performance Analysis in Sport, 9*, 128–140.
- McGarry, T., & Franks, I. M. (1994). A stochastic approach to predicting competition squash match-play. *Journal of Sports Sciences, 12*, 573-584.
- McGarry, T., & Franks, I. M. (1996). In search of invariant athletic behaviour in competitive sport systems: An example from championship squash match-play. *Journal of Sports Sciences, 14*, 445-456.
- McGarry, T., Anderson, D. I., Wallace, S. A., Hughes, M. D., & Franks, I. M. (2002). Sport competition as a dynamical self-organizing system. *Journal of Sports Sciences, 20*, 771-781.
- Merleau-Ponty, M. (1945). *Phénoménologie de la perception*. Paris : Gallimard.
- Moussaïd, M. (2010). *Étude expérimentale et modélisation des déplacements collectifs de piétons*. Thèse de doctorat en éthologie non-publiée, Université de Toulouse, Toulouse..
- Murray, L., & Trevarthen, C. (1985). Emotional regulation of interactions between 2-month-olds and their mothers. In T. M. Field, & N.A. Fox (Eds.), *Social perception in infants* (pp. 177-197). Norwood, NJ: Ablex.
- Néda, Z., Ravasz, E., Brechet, Y., Vicsek, T., & Barabási, A. L. (2000). Self-organizing processes: The sound of many hands clapping. *Nature, 403*, 849-850.
- Nourrit, D., Delignières, D., Caillou, N., Deschamps, T., & Lauriot, B. (2003). On discontinuities in motor learning: A longitudinal study of complex skill acquisition on a ski-simulator. *Journal of motor behavior, 35*, 151-170.

- Palut, Y., and Zanone, P. G. (2005). A dynamical analysis of tennis: Concepts and data. *Journal of Sports Sciences*, 23, 1021-1032.
- Passos, P., Araújo, D., Davids, K., Milho, J., & Gouveia, L. (2009). Power law distributions in pattern dynamics of attacker-defender dyads in the team sport of rugby union: Phenomena in a region of self-organised criticality. *Emergence, Complexity and Organization*, 11, 37-45.
- Passos, P., Araújo, D., Davids, K., Gouveia, L., Milho, J., & Serpa, S. (2008). Information-governing dynamics of attacker–defender interactions in youth rugby union. *Journal of Sports Sciences*, 26, 1421-1429.
- Passos, P., Milho, J., Fonseca, S., Borges, J., Araújo, D., & Davids, K. (2011). Interpersonal distance regulates functional grouping tendencies of agents in team sports. *Journal of Motor Behavior*, 43, 155-163.
- Petitmengin, C. (2006a). Describing one’s subjective experience in the second person: An interview method for the science of consciousness. *Phenomenology and the Cognitive sciences*, 5, 229-269.
- Petitmengin, C. (2006b). L’énaction comme expérience vécue. *Intellectica*, 43, 85-92.
- Petitmengin, C. (2009). The validity of first-person descriptions as authenticity and coherence. *Journal of Consciousness Studies*, 16, 252-284.
- Petitmengin, C., Navarro V., Le Van Quyen, M. (2007). Anticipating seizure: Pre-reflective experience at the center of neuro-phenomenology. *Consciousness and Cognition*, 16, 746–64
- Poizat, G. (2006). *Analyse en ergonomie cognitive de l’activité collective en tennis de table. Contribution à la connaissance des interactions humaines*. Thèse de doctorat en STAPS non publiée, Université de Rouen, Rouen.
- Poizat, G., Bourbousson, J., Saury, J., & Sève, C. (2009). Analysis of contextual information sharing during table tennis matches: An empirical study on coordination in sports. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 7, 465-487.
- Poizat, G., Bourbousson, J., Saury, J., & Sève, C. (2012). Understanding team coordination in doubles table tennis: Joint analysis of first- and third-person data. *Psychology of Sport & Exercise*, 13, 630-639.
- Reimer, T., Park, E. S., & Hinsz, V. B. (2006). Shared and coordinated cognition in competitive and dynamic task environments: An information-processing perspective for team sports. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 4, 376-400.
- R’Kiouak, M., Cogé, G., & Bourbousson, J. (2013). *Dynamics of cognitive team coordination in basketball: a social network analysis with novice players*. Presentation at the 13e Congress of the ISSP, 21-25 July 2013, Beijing, China.
- Ribot, J.C. (2006). *Football : L’intelligence collective* [DVD]. Mosaïque Films – Pois Chiche Films.

- Richardson, M. J., Marsh, K. L., Isenhower, R., Goodman, J., Schmidt, R. C. (2007). Rocking together: Dynamics of intentional and unintentional interpersonal coordination. *Human Movement Science*, 26, 867-891.
- Rico, R., Alcover de la Hera, C.M., & Tabernero, C. (2011). Work team effectiveness: A review of research from the last decade (1999-2009). *Psychology in Spain*, 15, 57-69.
- Rodriguez, E., George, N., Lachaux, J.P., Martinerie, J., Renault, B., & Varela, F.J. (1999). Perception's shadow: long-distance synchronization of human brain activity, *Nature*, 397, 430-433.
- Roe, R. A. (2008). Time in applied psychology: The study of “what happens” rather than “what is”. *European Psychologist*, 13, 37–52.
- Roe, R. A., Gockel, C., & Meyer, B. (2012). Time and change in teams: Where we are and where we are moving. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, 21, 629-656.
- Romero, V., Kallen, R., Riley, M. A., & Richardson, M. J. (in press). Can discrete joint action be synergistic? Studying the stabilization of interpersonal hand coordination. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*.
- Rubenstein, M., Cornejo, A., & Nagpal, R. (2014). Programmable self-assembly in a thousand-robot swarm. *Science*, 345, 795-799.
- Salas, E., Prince, C., Baker, D. P., & Shrestha, L. (1995). Situation awareness in team performance: Implications for measurement and training. *Human Factors*, 37, 123–136.
- Sartre, J.-P. (1972). *Situation IX*. Paris : Gallimard.
- Saury, J., Adé, D., Lardy, J., Nordez, A., Seifert, L., Thouwarecq, R., & Bourbousson, J. (2014). *Experiential and mechanical data crossed analysis for a better understanding of sports performance. Case study on expert interpersonal coordination in rowing*. Oral presentation at the 5th International Congress of the French Society of Sport Psychology, 12-14 May, Nice.
- Schiavio, A., & Høffding, S. (in press). Playing together without communicating? A pre-reflective and enactive account of joint musical performance. *Musicae Scientiae*.
- Schilbach, L. (2010). A second-person approach to other minds. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(6), 449-449.
- Schilbach, L., Timmermans, B., Reddy, V., Costall, A., Bente, G., Schlicht, T., & Vogeley, K. (2013). Toward a second-person neuroscience. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(04), 393-414.
- Schmidt, K. (2011). *Cooperative work and coordinative practices* (pp. 3-27). London : Springer.
- Schmidt, R. C., & O'Brien, B. (1997). Evaluating the dynamics of unintended interpersonal coordination. *Ecological Psychology*, 9, 189–206.
- Schmidt, R. C., & Richardson, M. J. (2008). Dynamics of interpersonal coordination. In X. A. Fuchs, & V. K. Jirsa (Eds.). *Coordination: Neural, behavioral and social dynamics* (pp. 281-308). Berlin Heidelberg : Springer.

- Schmidt, R. C., Turvey, M. T. (1995). Models of interlimb coordination: equilibria, local analyses, and spectral patterning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 432–443.
- Schmidt, R. C., Carello, C., & Turvey, M. T. (1990). Phase transitions and critical fluctuations in the visual coordination of rhythmic movements between people. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 16, 227.
- Seifert, L. (2010). *Coordination motrice et expertise : Pour une approche complexe du contrôle moteur dans les activités physiques et sportives*. Note de synthèse pour l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Rouen, Rouen.
- Sève, C., Bourbousson, J., Poizat, G., & Saury, J. (2009). Cognition et performance collectives en sport. *Intellectica*, 52, 1-25.
- Sève, C., Nordez, A., Poizat, G., & Saury, S. (2013). Performance analysis in sport: Contributions from a joint analysis of athletes' experience and biomechanical indicators. *Scandinavian Journal of Medecine and Science in Sports*, 23, 576-584.
- Stahl, G. (2015). *Essays in group cognition science*. USA: Gerry Stahl Ed.
- Stahl, G. (in press). From intersubjectivity to group cognition. *Computer Supported Cooperative Work*.
- Stahl, G., Koschmann, T., & Suthers, D. (2006). Computer-supported collaborative learning: An historical perspective. In R. K. Sawyer (Ed.), *Cambridge handbook of the learning sciences*. (pp. 409-426). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Steiner, I. D. (1972). *Group process and productivity*. New York, NY: Academic Press.
- Suchman, L. (1987). *Plans and Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Theureau, J. (2004). *Le cours d'action: Méthode élémentaire*. Toulouse : Octares.
- Theureau, J. (2006). *Cours d'action: Méthode développée*. Toulouse : Octares.
- Thompson, E. (2011). Précis of mind in life: Biology, phenomenology, and the sciences of mind. *Journal of Consciousness Studies*, 18, 10-22.
- Thompson, E., & Varela, F. J. (2001). Radical embodiment: neural dynamics and consciousness. *Trends in cognitive sciences*, 5, 418-425.
- Uitdewilligen, S., Waller, M. J., & Zijlstra, F. R. (2010). Team cognition and adaptability in dynamic settings: A review of pertinent work. *International Review of Industrial and Organizational Psychology*, 25, 293-345.
- Uitdewilligen, S., Waller, M., & Pitariu, A. (2013). Mental model updating and team adaptation. *Small Group Research*, 44, 127-158.
- Varela, F. (1989a). *Invitation aux sciences cognitives*. Paris : Seuil.
- Varela, F. J. (1989b). *Autonomie et connaissance. Essai sur le vivant*. Paris : Seuil.

- Varela, F.J. (1996). *Quel savoir pour l'éthique : Action, sagesse et cognition*. Paris : La découverte.
- Varela, F. J., & Shear, J. (1999). The view from within. *Journal of Consciousness studies*, 6, 293-96.
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1993). *L'inscription corporelle de l'esprit: Sciences cognitives et expérience humaine*. Paris : Seuil.
- Varlet, M., & Richardson, M. J. (in press). What would be usain bolt's 100-meter sprint world record without tyson gay? Unintentional interpersonal synchronization between the two sprinters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*.
- Von Uexkül, J. (1966). *Mondes animaux et monde humain*. Paris : Gonthier.
- Wassermann, S., & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Weick, K. E. (1995). *Sensemaking in organizations*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Weick, K. E., Sutcliffe, K. M., & Obstfeld, D. (2008). Organizing for high reliability: Processes of collective mindfulness. *Crisis management*, 3, 81-123.
- Wellman, B. 1988. Structural Analysis: From Method and Metaphor to Theory and Substance. In B. Wellman & S.D. Berkowitz (Eds.), *Social structures a network approach* (pp. 19-61). Cambridge: Cambridge University Press.
- Yin, R.K. (1990). *Case Study Research: Design and methods*. Thousand Oaks: Sage.

